Astr. P: 32 $\frac{h}{-}$ in 8°

Carl

Die Principien

der

astronomischen

Instrumentenkunde.

Die Principien

der

astronomischen

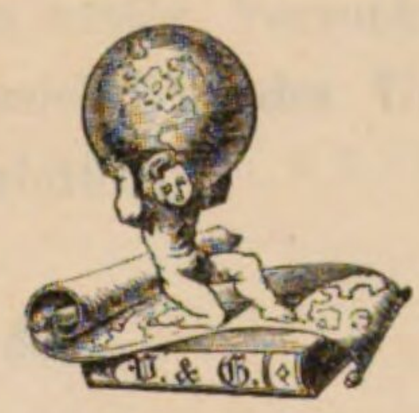
Instrumentenkunde

von

Dr. Philipp Carl,

Privatdocent der Universität München.

Mit 15 lithographirten Tafeln Abbildungen.



Leipzig,

Voigt & Günther.

1863.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

BIBLIOTHECA
REGIA

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen behalten sich der Verfasser und die Verlagshandlung vor.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorwort.

Während die astronomische Literatur eine Reihe von vortrefflichen Schriften aufzuweisen hat, in welchen specielle, an verschiedenen Sternwarten aufgestellte Instrumente beschrieben sind, fehlte es bisher noch gänzlich an einem Werke, in welchem die Hauptpunkte — die Principien — zusammengestellt wären, welche sich auf die Construction der astronomischen Instrumente im Allgemeinen und namentlich auf die der einzelnen Theile derselben beziehen.

Durch die vorliegende Schrift nun habe ich diese Lücke auszufüllen gesucht. Vorzügliche Dienste leistete mir bei meiner Arbeit die ausgezeichnete Beschreibung der pulkowaer Sternwarte von Sr. Exc. Herrn Geh. Rath v. Struve; zu ganz besonderem Danke bin ich aber auch noch Herrn Professor Lamont verpflichtet, durch dessen Güte mir einerseits seit sechs Jahren der Zutritt zu der hiesigen Sternwarte gestattet wurde und dem ich andererseits eine grosse Menge von mündlichen Mittheilungen verdanke, die auf den vorliegenden Gegenstand Bezug haben.

Da das Buch als ein erster Versuch auf diesem Felde zu betrachten ist, so muss ich mir hinsichtlich der Unvollkommenheiten desselben die Nachsicht meiner Leser erbitten.

München, im Mai 1863.

Ph. Carl.

BIBLIOTECA
DE LA FACULTAD
DE DERECHO

Inhaltsverzeichniss.

Seite

Einleitung, § 1—7 1

Erster Abschnitt.

Von der Axenbewegung (§ 8—35).

I. Allgemeine Verhältnisse. Verschiedene Arten von Axen, § 8—11 5
II. Verticale Axen, § 12—16. 6
III. Horizontale Axen, § 17—30 8
a. Der Axenkörper, § 18—19 9
b. Die Zapfen, § 20—24 10
c. Die Lager, § 25—27 12
d. Vorrichtungen zum Umlegen horizontaler Axen, § 28—30 13
IV. Axenverbindungen, § 31—34. 15
V. Axenbewegung in Spitzen, § 35 17

Zweiter Abschnitt.

Von den Kreisen (§ 36—80).

I. Material, Grösse und Theilung astronomischer Kreise, § 36—43 19
II. Hülfsmittel zur Ablesung und Subdivision geradliniger und Kreistheilungen, § 44—70 24
1. Der Index, § 45—47 24
2. Transversallinien, § 48, 49 25
3. Der Nonius oder Vernier, § 50—54 26
4. Das mikrometrische Mikroskop, § 55—70. 29
III. Excentricität bei getheilten Kreisen, § 71 38
IV. Theilungsfehler der Kreise. — Repetition, § 72—75 38
V. Schwerewirkung bei verticalen Kreisen, § 76, 77 41
VI. Zonenapparate, § 78—80. 42

Dritter Abschnitt.

Seite

Das Fernrohr (§ 81—113).

I. Hauptbestandtheile des Fernrohrs, § 83—89 46
II. Gebrochene Fernrohre, § 90—94 50
III. Fäden und Fadennetze in Fernrohren, § 95—101 52
IV. Beleuchtung des Gesichtsfeldes oder der Fäden im Fernrohre. — Lichte Linien, § 102—110 57
V. Biegung des Fernrohrs, § 111—113 61

Vierter Abschnitt.

Hülfsmittel zur genauen Einstellung des Fernrohrs (§ 114—128).

I. Von den Klemmen, § 115—119 64
1. Klemmen am Kreise, § 116—117 65
2. Klemmen an der Axe, § 118 65
3. Klemmung mittels einer Schraube ohne Ende, § 119 66
II. Von der feinen Bewegung, § 120—128 66
1. Bewegung nach der Sehne, § 121—123 67
2. Bewegung in der Tangente, § 124—126 68
3. Bewegung mittels einer Schraube ohne Ende, § 127 70
4. Bewegung mittels eines Keils, § 128 70

Fünfter Abschnitt.

Von der Balancirung einzelner Theile der astronomischen Instrumente zum Behufe der Aufhebung nachtheiliger Wirkungen der Schwere (§ 129—157).

I. Balancirung zur gleichmässigen Vertheilung des Druckes auf die Unterlage des Instruments, § 129—135 71
II. Balancirung zur Verminderung des Druckes gegen die Unterlage, § 136—151 . 75
1. Balancirung bei verticalen Axen, § 137, 138 75
2. Balancirung bei horizontalen Axen, § 139—146 76
3. Balancirung bei geneigten Axen, § 147—151 81
a) Balancirung des Druckes in der Richtung der Axenlänge, § 148, 149 82
b) Balancirung des Druckes senkrecht auf die Länge der Axe, § 150, 151 83
III. Balancirung zur Aufhebung einer Biegung, § 152—157 84
1. Beseitigung der Biegung an Axen durch die Balancirung, § 153—155 . 85
2. Balancirung des Fernrohrs zur Aufhebung der Biegung, § 156—157 . 86

Sechster Abschnitt.

Von den Libellen (§ 158—179).

I. Allgemeine Einrichtung der Libelle, § 158—160 88
II. Verfertigung der Libellen, § 161—167 89
1. Die Libelle hat eingeschliffene Deckel, § 163 90
2. Die Röhrenenden werden zugeschmolzen, § 164—167 91

Seite

III. Fassung der Libellen, § 168—174. 93
1. Libellen zum Aufsetzen oder Anhängen an eine Axe, § 169, 170 . . . 93
2. Libellen zum Auflegen auf eine Ebene, § 171—173 95
3. Fest angebrachte Libellen, § 174. 96
IV. Ueber einige bei den Libellen zu beachtende Umstände, § 175, 176. 96
V. Das Loth, § 177, 178. 98
VI. Donkin's Libelle, § 179. 99

Siebenter Abschnitt.

Von den Mikrometern, welche zur relativen Ortsbestimmung dienen (§ 180—230).

Erfindung und Eintheilung der Mikrometer, § 180, 181 100
I. Mikrometer, bei welchen sich die Messvorrichtung im Focus des Fernrohrs befindet, § 182—205. 101
1. Einfache Lamellen, § 182, 183 101
2. Geradlinige Figuren, § 184 102
3. Kreismikrometer, § 185, 186 103
4. Glasmikrometer, § 187 104
5. Kirch's Schraubenmikrometer, § 188. 105
6. Filarschraubenmikrometer, § 189—193. 105
7. Positionsmikrometer, § 194 107
Das Fraunhofer'sche Filarmikrometer, § 195—205 107
II. Mikrometer, bei welchen blos ein Bild der Messvorrichtung im Focus des Fernrohrs erzeugt wird. — Lichte Linien und Punkte, § 206—212 112
1. Das Steinheil'sche Mikrometer, § 206, 207 112
2. Lamont's Mikrometer mit lichten Linien, § 208 113
3. Stampfer's Mikrometer mit lichten Linien und Punkten. — v. Littrow's Linien, § 209—212 114
III. Doppelbildmikrometer, § 213—230 117
1. Heliometer, § 214—223 117
Das Fraunhofer'sche Heliometer, § 215—221. 118
Steinheil's Ocularheliometer, § 222, 223 123
2. Mikrometer mit doppeltbrechenden Krystallen, § 224—226 124
1) Rochon's Mikrometer, § 224 124
2) Arago's Mikrometer mit veränderlicher und constanter Vergrösserung, § 225, 226. 125
3. Doppelbildmikrometer mit Glasprismen und Planparallelgläsern, § 227—230 126

Achter Abschnitt.

Von den Collimatoren und dem künstlichen Horizonte (§ 231—246).

I. Kater's schwimmende Collimatoren, § 232—234 130
a) Der horizontale Collimator, § 233 131
b) Der verticale Collimator, § 234 131
II. Collimatoren mit Libellen, § 235—238 132
a) Horizontale Collimatoren, § 236, 237 132
b) Lamont's verticaler Collimator, § 238 134

Seite

III. Collimatoreinrichtungen mit künstlichem Horizonte, § 239—246 135
a) Die Bohnenberger'sche Methode, § 239—243 135
b) Der künstliche Horizont, § 244—246 137

Neunter Abschnitt.

Die ganzen Instrumente (§ 247—276).

Aufstellung der Instrumente, § 247—250 140
I. Instrumente mit horizontalen Axen, § 251—260 142
1. Die Meridianinstrumente, § 252—259 142
a) Das Durchgangs- oder Passageninstrument, § 253—255 142
b) Der Meridiankreis, § 256, 257 144
c) Der Mauerkreis, § 258, 259 145
2. Instrumente im ersten Verticale, § 260 145
II. Aequatoreale, § 261, 262 146
III. Instrumente für Höhe und Azimut, § 263—275 147
Die Spiegelinstrumente, § 267—275 149
1. Der Spiegelsextant, § 268—272 151
2. Reflexionskreise, § 273—275 153
Schlussbetrachtungen, § 276 155

Erster Anhang. Einige Bemerkungen über die bei den astronomischen Instrumenten vorkommenden Schrauben 157

Zweiter Anhang. Verzeichniss der bedeutendsten Verfertiger astronomischer Instrumente 159

Dritter Anhang. Literatur über Mikrometer nach alphabetischer Reihenfolge der Autoren 162

Einleitung.

1. Die Hauptaufgabe der praktischen Astronomie besteht bekanntlich in der Bestimmung der Sternörter am Himmelsgewölbe; die Lösung dieser Aufgabe wird ermöglicht durch die astronomischen Instrumente.

Die Sternörter werden durch ihre sphärischen Coordinaten bestimmt und dabei je nach Bedürfniss der Horizont, der Aequator oder die Ekliptik zu Grunde gelegt, d. h. sie werden durch Höhe und Azimut, Declination und Rectascension oder Länge und Breite gegeben. Je nachdem man das eine oder andere dieser Coordinatenpaare durch die Beobachtung erhalten will, muss die Einrichtung des Instrumentes eine verschiedene sein; bisher hat man jedoch blos Instrumente für die Beobachtung der beiden ersten Coordinatensysteme construirt und, wenn man die Länge und Breite eines Himmelskörpers kennen wollte, diese durch Rechnung aus den auf den Horizont oder Aequator bezogenen bekannten Coordinaten abgeleitet.

2. Ein Instrument, mit welchem Höhe und Azimut gemessen werden kann, heisst ein Höheninstrument; bei den Instrumenten hingegen, mit welchen die Sternörter in Bezug auf den Aequator bestimmt werden sollen, sind zwei Klassen zu unterscheiden, je nachdem das Instrument die Beobachtung blos im Meridiane oder nach jeder Richtung hin zulässt. Mit den Instrumenten der ersten Klasse, den Meridianinstrumenten, wird die gerade Aufsteigung der Sterne durch die Zeit bestimmt, zu welcher dieselben den Meridian passiren; statt der Declination wird dabei gewöhnlich die Polardistanz oder auch die Zenithdistanz gemessen. Zu dieser Klasse von Instrumenten gehören die Meridiankreise, die Mauerkreise und die Passagen- oder Durchgangsinstrumente, welch letztere jedoch blos zur Bestimmung der geraden Aufsteigung der Sterne dienen. Die Instrumente der zweiten Klasse, welche eine Bestimmung der Sternörter durch Rectascension und Declination nicht blos im Meridiane, sondern nach jeder Richtung hin zulassen, nennt man Aequatoreale.

Während man mit den Meridianinstrumenten absolute Ortsbestimmungen vornimmt, werden die Aequatoreale in neuerer Zeit blos zur relativen Ortsbestimmung verwendet, d. h. es werden die Unterschiede der Coordinaten des unbekannten und eines zweiten Sterns gemessen, dessen absolute Coordinaten bereits durch Meridianbeobachtungen bekannt sind. Zu diesem Zwecke werden auch eigene Vorrichtungen mit den Aequatorealen verbunden, nämlich die sogenannten Mikrometer.

3. Je nach ihrer Grösse und der Art ihrer Aufstellung zerfallen die sämmtlichen astronomischen Instrumente wieder in zwei Klassen: in feststehende und transportable Instrumente.

Die feststehenden Instrumente werden, wie dies schon aus dieser Bezeichnung hervorgeht, blos an den stationären Observatorien gebraucht; es handelt sich bei ihnen um eine möglichst feste, unveränderliche Aufstellung. Man erreicht eine solche Aufstellung dadurch, dass man die Instrumente an Steinpfeilern anbringt, welche unabhängig vom Fundamente der Gebäude aufgeführt werden.

Im Gegensatze hierzu lassen die transportablen Instrumente eine Aufstellung an jedem Orte zu, es kann dabei jedoch auch nicht der Grad von Genauigkeit für die Beobachtungen erreicht werden, welcher durch die fixen Instrumente erlangt wird. Solche transportable Instrumente sind die Theodoliten, die Universalinstrumente, die Sextanten und die Reflexionskreise.

Während ferner die feststehenden Instrumente blos zu dem bereits angeführten Zwecke, nämlich zur astronomischen Ortsbestimmung gebraucht werden, können die transportablen Instrumente ausserdem zur Lösung secundärer Aufgaben eingerichtet werden, wohin namentlich die geodätischen Operationen, die optischen und magnetischen Experimente zu rechnen sind.

Je nachdem also das Problem der astronomischen Ortsbestimmung auf die eine oder andere Weise, oder je nachdem die eine oder andere der angeführten secundären Aufgaben mit einem Instrumente gelöst werden soll, muss die Construction desselben eine verschiedene sein; es gibt jedoch eine Reihe von Grundsätzen — Principien —, welche allen Instrumenten gemeinsam sind und welchen je nach Bedürfniss auf verschiedene Weise durch die Praxis Genüge geleistet werden kann. Diese Principien, ihre verschiedenartige Ausführung und Anwendung werden den Gegenstand der vorliegenden Schrift bilden.

4. Bei der Construction und der Beurtheilung der astronomischen Instrumente ist vor allem auf die zweckmässige Einrichtung des Ganzen und der einzelnen Theile Rücksicht zu nehmen; man muss dabei übrigens auch, soweit die Zweckmässigkeit dadurch nicht beeinträchtigt wird, auf eine gefällige Form derselben sehen.

Die meisten Bestandtheile der Instrumente sind aus Metallen verfertigt,

welche, um sie möglichst vor Oxydation zu schützen, mit Schellackfirniss überzogen oder geschwärzt [1]) oder in neuerer Zeit auch bronzirt [2]) werden; einzelne und zwar ganz bestimmte Theile müssen dagegen immer metallisch rein gehalten sein.

In Bezug auf die Construction der einzelnen Theile astronomischer Instrumente im Allgemeinen lässt sich ein charakteristisches Unterscheidungsmerkmal der englischen und deutschen Instrumente anführen. Ramsden, Troughton und die übrigen bedeutenden englischen Künstler nämlich setzten meistens die einzelnen Bestandtheile der Instrumente selbst wieder aus einer Menge von gesonderten, theilweise auch hohlen Stücken zusammen, sie suchten dadurch eine möglichst grosse Steifigkeit zu erzielen; die deutschen Künstler seit v. Reichenbach dagegen stellen die einzelnen Theile soviel als thunlich in einem Stücke und zwar massiv her.

5. Ein Haupterforderniss guter astronomischer Beobachtungen besteht darin, dass dieselben vollkommen unabhängig vom Instrumente gemacht werden können; andererseits ist es dagegen in der Praxis unmöglich, mit den bisherigen Hülfsmitteln der Mechanik alle Theile desselben vollkommen fehlerfrei auszuführen. Der Künstler muss demnach nicht blos darnach trachten, bei der praktischen Ausführung der Instrumente den höchsten Grad der technischen Vollendung zu erreichen, sondern es ist ausserdem bei der Construction derselben auch noch auf den Punkt Rücksicht zu nehmen, dass die übrigbleibenden Unvollkommenheiten durch eigene Vorrichtungen auf ein Minimum herabgebracht werden können und die selbst dann noch vorhandenen Fehler einer genauen Bestimmung fähig sind.

Zu diesem Zwecke sollen z. B. alle symmetrischen Theile der Instrumente so eingerichtet werden, dass dieselben umgelegt, d. h. dass die Beobachtungen bei entgegengesetzter Lage derselben vorgenommen werden können; der Fehler, der in beiden Fällen gleich gross ist, aber im entgegengesetzten Sinne die Beobachtungen afficirt, hebt sich dann im Mittel der beiden Beobachtungen auf. In der Folge werden wir noch vielfach Gelegenheit finden, hierher gehörige Einrichtungen und zwar namentlich solche zu besprechen, bei welchen die Berichtigung einzelner Bestandtheile der Instrumente durch Verschiebung mittels sogenannter Correctionsschrauben zu Stande gebracht wird; vor der Hand mag jedoch das angeführte Beispiel genügen.

---

1) Es sind mehrere Mittel zu diesem Zwecke angewendet worden; eine sehr gebräuchliche Schwärze für Messing ist die Auflösung von Kupfer in Salpetersäure, wozu noch etwas Silber gebracht wird. In diese Auflösung werden die Instrumententheile, welche geschwärzt werden sollen, eingetaucht.

2) Ein mir bekannt gewordenes Mittel zum Bronziren ist das folgende: 10 Loth krystallisirter Grünspan, 3 Loth Salmiak, 16 Loth Weinessig und 8 Mass destillirtes Wasser. Diese Lösung wird bis zum Sieden erhitzt und sodann das Metall eingetaucht; letzteres muss zuvor in Lauge von jeder Spur von Fett gereinigt sein.

6. Ein durchweg bei allen astronomischen Instrumenten, die mit einer geradlinigen oder Kreistheilung versehen sind, eingehaltener Grundsatz besteht in der sogenannten Elimination des Nullpunktes.

Ganz abgesehen nämlich davon, dass es in sehr vielen Fällen ungemein schwierig ist, den Nullpunkt einer Theilung genau an eine bestimmte Stelle zu bringen, ja meistens unmöglich, Vorrichtungen herzustellen, durch welche er unveränderlich an dieser Stelle gehalten wäre, so ist dies auch durchaus nicht erforderlich; denn man hat nur nöthig, den Punkt, von welchem ausgegangen wird — den Anfangspunkt der Zählung — an der Theilung jedesmal genau zu bestimmen und von den durch die Beobachtungen erhaltenen Ablesungen die Ablesung dieses Punktes zu subtrahiren.

In vielen Fällen kann sogar die Bestimmung dieses Ausgangspunktes völlig umgangen werden. Kann man nämlich durch irgend eine Methode zur Kenntniss der Ablesungen für die geradlinige oder Winkeldistanz eines Punktes vom Anfangspunkte der Zählung auf den entgegengesetzten Seiten desselben gelangen, so ist die Hälfte des Unterschiedes der beiden Ablesungen die wahre Länge der Entfernung von diesem Punkte und also der Nullpunkt eliminirt.

7. Mit den astronomischen Instrumenten sollen, wie in § 1 gezeigt wurde, Winkel gemessen werden; die nothwendigen Erfordernisse zur Bestimmung eines Winkels sind aber eine gerade Linie, welche um eine durch den Mittelpunkt eines Kreises gehende Axe gedreht werden kann, und eine auf dem Kreise befindliche Theilung, welche die Grösse der von dieser geraden Linie beschriebenen Drehung angibt. Es ist hieraus ersichtlich, dass Axenbewegung und getheilte Kreise die ersten wesentlichen Punkte bei den astronomischen Instrumenten sind; wir haben deshalb die hierher gehörigen Verhältnisse zunächst zu betrachten.

Erster Abschnitt.

Von der Axenbewegung.

I. Allgemeine Verhältnisse. Verschiedene Arten von Axen.

8. Eine jede Axe sollte im Grunde genommen blos eine mathematische Linie sein, eine solche lässt sich aber in Wirklichkeit nicht herstellen. Dagegen erreicht man den gleichen Zweck durch Anwendung materieller Axen, welche in allen Querschnitten genau kreisrund sind und bei welchen die Mittelpunkte aller dieser Kreise in einer geraden Linie liegen. Zu einer bestimmten Bewegung ist dann noch eine geeignete Führung der Axe nothwendig, welche je nach Bedürfniss und besonders je nach der Lage, welche die Axe erhalten soll, verschieden eingerichtet sein muss.

9. Die Axen der astronomischen Instrumente und auch die zugehörigen Führungen werden aus Metall verfertigt. Was die Wahl des Metalls betrifft, das hierzu verwendet werden soll, so besteht die allgemeine Regel, zur Axe ein härteres und zur Führung ein weicheres Metall zu nehmen. So wird meistens die Axe aus Stahl, die Führung aus Messing oder Glockenmetall (sogenanntem Rothgusse) oder auch aus Eisen verfertigt; ferner wird häufig für die Axe Rothguss, für die zugehörige Führung Messing gebraucht. Meyerstein hat auch Axen von Glas bei magnetischen Instrumenten in Anwendung gebracht.

10. Ein allgemeiner Grundsatz, welcher in neuerer Zeit bei jeder Axenbewegung berücksichtigt worden ist, besteht darin, die Axe blos an zwei Stellen zu führen. Eine Führung nämlich, welche sich an die Axe ihrer ganzen Länge nach anschliessen würde, ist einmal, wenn die Axe nur eine einigermassen beträchtliche Länge hat, sehr schwer herzustellen; aber wenn dies auch gelänge, so wären dabei Ungleichheiten in der Bewegung,

welche mit der Zeit durch die gegenseitige ungleichmässige Abnutzung der beiden Metalle verursacht werden, weit mehr zu fürchten, als wenn man die Axe nur an zwei Punkten mit der Führung in Verbindung bringt.

11. Man kann die Axen, wie sie bei den astronomischen Instrumenten vorkommen, in mehrere Klassen eintheilen; bei dieser Eintheilung kann man aber von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehen. Legt man nämlich die Lage zu Grunde, welche die Axe am ganzen Instrumente erhält, so zerfallen alle Arten von Axen in drei Klassen: in verticale, horizontale und schiefstehende Axen; geht man dagegen von der Form der beiden Stellen aus, an welchen die Axe mit ihrer Führung in Verbindung steht, so erhält man vier Klassen, je nachdem diese Stellen beide cylindrisch, oder beide konisch (abgekürzter Conus), oder blos die eine cylindrisch, die andere konisch, oder beide Spitzen (ganzer Conus) sind. Für unsern Zweck wird es am geeignetsten sein, keine dieser beiden Eintheilungen streng einzuhalten, sondern folgende vier Klassen von Axenbewegungen der Reihe nach näher zu betrachten, nämlich:

1. Verticale Axen, welche überall da angewendet werden müssen, wo es sich um die Messung von horizontalen Winkeln handelt;
2. horizontale Axen, welche bei denjenigen Instrumenten anzubringen sind, mit welchen Vertical- und Höhenwinkel gemessen werden sollen;
3. die Verbindung mehrerer auf einander senkrecht stehender Axen zu einem Systeme, bei welchem dem mit der Axenbewegung jedesmal verbundenen Fernrohre jede beliebige Richtung gegeben werden kann. Diese Art von Axenbewegung wird in denjenigen Fällen in Anwendung gebracht, bei welchen es sich um die gleichzeitige Messung der beiden Coordinaten eines Sternortes, also zweier Winkel handelt, deren Ebenen senkrecht auf einander stehen. Endlich sollen noch
4. diejenigen Axen, welche in Spitzen endigen, gesondert behandelt werden.

II. Verticale Axen.

12. Die ältesten verticalen Axen waren ganz kurze hohle Cylinder, welche sich in einem gleichfalls cylindrischen Loche bewegten; bei allen neuern Instrumenten wurden dagegen, entsprechend dem in § 10 angeführten Grundsatze, solche verticale Axen angewendet, welche blos an zwei Stellen mit ihrer Führung, die bei dieser Art von Axen eine metallene Büchse ist, in Verbindung stehen. Diese beiden Stellen können bei den einzelnen Axen verschieden sein und zwar sind sie entweder ein Cylinder und ein Conus, oder sie sind beide cylindrisch oder beide konisch.

13. Eine verticale Axe mit einem Cylinder und einem Conus — und dies ist die gewöhnlichste Einrichtung — ist in Fig. 1 im Durchschnitte dargestellt. $A\,B\,C\,D$ ist die Büchse, in welcher die Axe E läuft; diese schliesst sich an die Büchse nur mit dem Cylinder $m\,m'$ und dem Conus $n\,n'$ an, dazwischen ist ein freier Raum $f\,f$. Die wesentlichen Erfordernisse dieser Art von Axen bestehen darin, dass Cylinder und Conus in allen ihren Querschnitten genau kreisrund sind und ebenso die betreffenden Stellen der Büchse, sodass ein vollständiger Anschluss statthat; ferner müssen die geometrischen Axen des Cylinders und des Conus in einer geraden Linie liegen.

Diesen Bedingungen kann denn auch in der Praxis sehr gut Genüge geleistet werden, da man nicht blos die Kreisform schon mittels einer guten Drehbank richtig erhält, sondern dieselbe sowie ferner das völlige Anpassen der Axe an die Büchse durch Einschleifen ganz genau zu Stande bringen kann. [1])

Was eine Prüfung der Axen hinsichtlich ihrer kreisrunden Gestalt betrifft, so wird dieselbe weiter unten bei der Betrachtung der horizontalen Axen zur Sprache kommen.

Wendet man anstatt des Conus am untern Ende der angeführten Axe einen Cylinder, oder anstatt des Cylinders am obern Ende derselben einen Conus an, so hat man Axen mit doppeltem Cylinder oder doppeltem Conus (Fig. 4 u. 5), für welche ebenfalls die oben angegebenen Bedingungen zu erfüllen sind, sodass eine weitere Erklärung hierfür nicht erforderlich sein wird.

14. Wenn derjenige Theil des Instrumentes $K\,K$ (Fig. 1), welchen die Axe E trägt, sehr schwer ist, so würde dieselbe so fest in die Büchse gedrückt, dass eine Bewegung — besonders bei gutem gegenseitigen Anschlusse — nur sehr schwierig oder am Ende gar nicht bewerkstelligt werden könnte. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, sowie überhaupt die durch die Reibung bedingte gegenseitige Abnutzung zu vermindern, lässt man die Axe unten bei s aus der Büchse etwas hervorstehen und durch eine Feder einen Gegendruck von unten nach oben ausüben. Die Stärke dieser Feder richtet sich nach dem Gewichte der auf der Axe lastenden Theile des Instrumentes und der Axe selbst, und der Gegendruck von unten nach oben sollte eigentlich diesem Gewichte genau das Gleichgewicht halten; man muss es übrigens in der Wirklichkeit selbstverständlich immer so einrichten, dass die Axe sich mit einiger, wenn auch sehr geringer Reibung bewegt. Die verschiedenen Vorrichtungen, durch welche ein solcher Gegendruck bei den verticalen Axen der astronomischen Instrumente zu

---

1) Das Einschleifen selbst geschieht gewöhnlich mittels Smirgels oder fein zerstossenen Bimssteins; ganz besonders gut eignet sich hierzu auch fein abgeriebener Blaustein.

Stande gebracht wird, werden in Abschnitt V (§. 137, 138) näher behandelt werden.

15. Die Länge und Stärke der Axe richtet sich nach dem jedesmaligen Bedürfnisse, und es ist hierbei besonders auf die Stabilität des ganzen Instrumentes Rücksicht zu nehmen; das Gleiche gilt auch für die Büchse. Der freie Raum zwischen der Axe und denjenigen Stellen der Büchse, welche nicht zur Führung der Axe dienen, kann beliebig gross gemacht werden, nur darf die Festigkeit der ganzen Büchse nicht darunter leiden. Hinsichtlich der äussern Gestalt der Büchse ist zu bemerken, dass es zweckmässig ist, derselben im Allgemeinen eine cylindrische oder konische Form zu geben, weil dadurch der Druck derselben auf die Unterlage des Instrumentes symmetrisch um ihre geometrische Axe vertheilt wird, was zur Stabilität des ganzen Instrumentes erforderlich ist. [1])

16. Werden verticale Axen bei transportablen Instrumenten angewendet, und bei diesen finden sie auch in der Wirklichkeit ihre ausgedehnteste Anwendung, so wird mit der Büchse ein Dreifuss verbunden, wie dies Fig. 5 zeigt, welche den ganzen untern Theil eines kleinen Ertel'schen Universalinstrumentes [2]) im Durchschnitte darstellt. Am Ende der drei Arme dieses Dreifusses befinden sich die sogenannten Fussschrauben $F\,F$, welche an ihrem untern Ende konisch zugespitzt sind und auf welchen das ganze Instrument ruht. Diese Schrauben dienen zum Horizontalstellen der Kreisebene und dadurch auch zum Verticalstellen der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Axe. Die Enden der Arme des Dreifusses sind in der Regel geschlitzt, d. h. mit einem Einschnitte versehen, sodass durch eine Klemmschraube S die Bewegung der Fussschraube in ihrer Mutter regulirt werden kann.

Anstatt des Dreifusses sind mit der Büchse auch volle Kreisscheiben verbunden worden, durch welche die drei Fussschrauben hindurch gehen; der Kopf der letztern ist in der Regel am Rande mit einer Eintheilung versehen, und dabei unabhängig von der Bewegung der Schraube ein Zeiger angebracht, um die ganzen Schraubenumgänge und auch noch Bruchtheile eines ganzen Umgangs (Zehntel, Hundertstel etc.) mit Sicherheit angeben zu können.

III. Horizontale Axen.

17. Wir kommen nun zu der Betrachtung der horizontalen Axen. Alle horizontal stehenden Axen sind wenigstens an den beiden Stellen, wo sie

---

1) Vergl. Abschnitt V, § 129 ff.

2) Sawitsch, Abriss der praktischen Astronomie, Bd., I S. 156 ff., und Tafel V, Fig. 1.

auf ihren Unterstützungspunkten — den sogenannten Lagern — aufliegen, einfache Cylinder, welche die Zapfen der Axe heissen.

Man hat zwei Arten von horizontalen Axen zu unterscheiden, je nachdem sich das mit der Axe verbundene Fernrohr zwischen den Lagern befindet oder ausserhalb derselben. Bei beiden Arten sind folgende Theile in Betracht zu ziehen:

1) der Axenkörper,
2) die Zapfen,
3) die Lager und, da die horizontalen Axen entsprechend dem in § 5 angeführten Grundsatze so eingerichtet sind, dass sie umgelegt werden können,
4) die Umkehrungsvorrichtungen.

a. Der Axenkörper.

18. Der Axenkörper besteht aus Messing oder Glockenmetall und ist in den meisten Fällen in einem einzigen Stücke gegossen. Er ist gewöhnlich hohl, das Metall muss dabei aber doch, um die nöthige Festigkeit zu gewähren, hinlänglich stark genommen sein. Was die Form des Axenkörpers anbelangt, so besteht er im Allgemeinen (Fig. 6 u. 7) aus zwei abgestumpften Kegeln, in deren dünnere Enden die beiden Zapfen A und A' eingelassen sind. Zwischen diesen beiden konischen Stücken befindet sich dann bei denjenigen Axen (Fig. 6) [1]), bei welchen sich das Fernrohr zwischen den Lagern und also auch zwischen den Zapfen befindet, ein Cubus CC, welcher das Fernrohr F trägt, das in der Figur auf den Cubus projicirt erscheint. Bei denjenigen Axen dagegen, welche das Fernrohr ausserhalb der Zapfen tragen (Fig. 7), stossen die beiden Kegel mit ihren grössern Flächen entweder direct zusammen, oder sie sind durch einen kurzen Cylinder getrennt; auch hier wird meistens das Fernrohr an einem Cubus C befestigt, welcher jedoch vom Axenkörper E durch den Zapfen A' getrennt ist. Bei einigen englischen Instrumenten ist anstatt des Cubus CC eine Kugel angewendet worden. [2])

Eine Ausnahme hiervon findet bei den Mauerkreisen statt, bei welchen Zapfen und Axenkörper ein Stück (aus Stahl) bilden, die Führung eine Büchse ist und die Einrichtung überhaupt sich von der oben (§ 12 u. 13) beschriebenen der verticalen Axen blos durch die Lage der Axe unter-

---

1) Die Figur ist eine Copie des Meridianinstruments, das Ertel für die pulkowaer Sternwarte geliefert hat. Vgl. F. W. Struve, Description de l'observatoire de Poulkowa, S. 115 ff., Taf. XXIII.

2) S. z. B. Dollond, Account of the Transit instrument made for the Cambridge Observatory: Philosophical Transactions für 1825, II, 418.

scheidet. Im kleinern Massstabe kommen solche Axen auch bei transportablen Instrumenten vor.

19. Da der Axenkörper blos an seinen beiden Enden unterstützt wird, so würde er, seiner eigenen Schwere überlassen, sich biegen; allein man verhindert eine solche Durchbiegung dadurch, dass man die Axe balancirt, wodurch zugleich eine Verminderung des Druckes gegen die Lager erzielt und auch die gegenseitige Abnutzung der Zapfen und der Lager vermindert wird. Die Art und Weise, wie dies geschieht, werden wir in Abschnitt V, welcher von den Balancirungsvorrichtungen handelt, näher kennen lernen.

Was die Länge des Axenkörpers anbetrifft, so ist dieselbe je nach Bedürfniss verschieden; es kommen solche von wenigen Zollen — bei den transportablen Instrumenten — bis zu mehreren Fuss Länge — bei den Meridianinstrumenten — vor.

b. Die Zapfen.

20. Die Zapfen sind die Haupttheile der Axe. Sie bilden die eigentliche Rotationsaxe, bestehen in der Regel aus ganz hartem Stahle und müssen, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen,

1) vollkommen kreisrunde Cylinder,
2) genau gleich dick sein, und
3) muss die Verbindungslinie ihrer geometrischen Axen eine gerade Linie bilden.

21. Zur Prüfung der Richtigkeit der Zapfen hinsichtlich des ersten Punktes können die folgenden Methoden in Anwendung gebracht werden.

Bei der einen Methode wird die kreisrunde Gestalt der Zapfen mittels einer Libelle [1]) geprüft. Stellt man nämlich den einen Fuss einer solchen auf den Zapfen, den andern Fuss auf eine mit dem Lager fest verbundene Unterlage und zwar so, dass die Blase sich in der Mitte einstellt, so wird bei der Umdrehung der Axe die Blase der Libelle von der Mitte sich entfernen, sobald die geringste Abweichung des Zapfens von der kreisrunden Gestalt vorhanden ist. Mit einigen Instrumenten ist deshalb auch beständig eine sehr empfindliche Libelle, ein sogenanntes Fühlniveau, verbunden, deren einer Fuss auf dem Lager, der andere auf dem Zapfen ruht, sodass zu jeder Zeit die Kreisform des letztern geprüft werden kann. [2])

Ein weit feineres Prüfungsmittel für die Richtigkeit der Gestalt der Zapfen sind die Fühlhebel. Ein Fühlhebel ist im Allgemeinen ein zweiarmiger Hebel, dessen Arme sehr verschiedene Länge haben, sodass eine

---

1) Ueber die Einrichtung der Libelle siehe Abschnitt VI.

2) Annales of the Astronomical Observatory of Georgetown College, Nr. I, S. 28, Taf. VI, Fig. 5.

geringe Aenderung der Lage des kürzern eine bedeutende Verrückung für den längern Arm zur Folge hat. Die Empfindlichkeit des letztern wird dabei noch durch Uebersetzen, d. h. durch eine Verbindung mehrerer Hebelvorrichtungen, sowie durch optische Hülfsmittel bedeutend erhöht.

Wird dann der kürzere Arm eines solchen Fühlhebels mit dem Zapfen einer horizontalen Axe in Verbindung gesetzt und die Axe selbst gedreht, so muss der längere Arm während der ganzen Umdrehung seine Lage unverändert beibehalten, falls der Zapfen wirklich genau kreisrund ist.

Auf gleiche Weise lässt sich dann auch mittels eines Fühlhebels die kreisrunde Gestalt der zur Führung dienenden Stellen verticaler Axen untersuchen.

22. Was die praktische Herstellung der vollkommenen Kreisform der Zapfen betrifft, so kann man dieselbe so genau zu Stande bringen, dass selbst mittels der empfindlichsten Fühlhebel kein Fehler mehr entdeckt werden kann, und zwar werden die Zapfen entweder gedreht oder geschliffen.

Das Drehen geschieht mittels Diamants, wodurch zugleich das Poliren der Zapfen, durch welche Operation leicht wieder eine Aenderung der Gestalt erzeugt werden könnte, überflüssig wird. Als einen Beweis für die Genauigkeit, mit welcher man gegenwärtig zu drehen im Stande ist, will ich ein Beispiel anführen, das Airy in der Versammlung der Britischen Association zu Glasgow im Jahre 1840 erwähnt hat. Es war dies ein mittels Diamant gedrehter Cylinder, den Repsold verfertigt hatte und der genau durch einen ebenfalls gedrehten Hohlcylinder ging. Wurde nun das eine Ende des letztern luftdicht verschlossen, so ging der massive Cylinder in den Hohlcylinder nicht mehr ganz hinein; der gegenseitige Anschluss war also so genau hergestellt, dass keine Luft entweichen konnte.

Will man hingegen die Zapfen schleifen, so kommen hierbei dieselben Grundsätze in Betracht, nach welchen die Glaslinsen durch das Schleifen in den Schalen genau die Kugelgestalt erhalten. Nachdem nämlich die Axe einfach abgedreht ist, bringt man den Zapfen in eine ringförmige Vorrichtung und dazwischen Smirgel oder Bimsstein und zuletzt am besten Blaustein.

Dreht man sodann die Axe, so schleifen sich Zapfen und Ring gegen einander genau zur kreisrunden Gestalt aus. Lamont hat auf diese Weise die Zapfen des neuen Meridianinstrumentes der münchner Sternwarte herstellen lassen und die Methode hat sich als vollkommen brauchbar erwiesen.

23. Als zweites Erforderniss für richtige Zapfen wurde oben (§ 20) die Bedingung angeführt, dass beide Zapfen die gleiche Dicke besitzen sollen. Man prüft diesen Punkt mittels einer Libelle auf folgende Weise: Setzt man nämlich die beiden Füsse einer solchen auf die Zapfen der Axe auf, liest ihren Stand ab, kehrt die Libelle sodann um, sodass die Füsse derselben gegen die Zapfen ihre Lage wechseln, und liest wieder ab, so muss

die Ablesung, falls die beiden Zapfen genau gleich dick sind, das eine Mal nach der einen, das andere Mal nach der entgegengesetzten Seite von der Mitte um die gleiche Anzahl von Theilstrichen abweichen. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Rotationsaxe wirklich horizontal und die Libelle berichtigt ist; man kann jedoch, wie dies die praktische Astronomie lehrt [1]), aus den Libellenablesungen die Neigung der Axe, den Fehler der Libelle und die Ungleichheit der Durchmesser der Zapfen durch Rechnung finden.

24. Die dritte Bedingung, welche bei den Zapfen einer richtigen horizontalen Axe erfüllt werden muss, besteht darin, dass die geometrischen Axen der beiden Zapfen in einer geraden Linie liegen sollen. Man setzt wieder, um sich hiervon zu überzeugen, die Füsse einer Libelle auf die Zapfen der Axe auf und beobachtet ihren Stand. Bleibt dieser während einer vollständigen Umdrehung der Axe der gleiche, so ist der obigen Bedingung Genüge geleistet; ändert sich dagegen der Stand der Libelle, so ist die Verbindungslinie der geometrischen Axen der Zapfen keine gerade Linie.

c. Die Lager.

25. Ein sehr wichtiger Punkt bei der Bewegung horizontaler Axen ist die Construction der Lager, welche die Unterstützungspunkte der Axen bilden und in welchen sich eben diese bewegen.

Es sind bisher bezüglich der Form der Lager zwei verschiedene Arten derselben angewendet worden, nämlich kreisförmige und winkelförmige Lager.

Das einfachste Lager ist ein Halbkreis oder überhaupt ein Kreisbogen, dessen Durchmesser genau dem Durchmesser des Zapfens gleich ist. Dieser Bedingung kann man auch durch die Praxis leicht Genüge leisten, man darf nur den Zapfen Z (Fig. 8) und das Lager $L\,L$ gegen einander auf die oben § 22 angegebene Weise ausschleifen; allein bei längerem Gebrauche hat man den Missstand, dass sich die Metalle gegenseitig abnutzen und so die Kreisform verloren geht. [2])

Dieser Umstand wird zwar durch die Balancirung der Axe bedeutend vermindert, aber nicht aufgehoben. Gambey hat [3]) bei den von ihm verfertigten grössern Instrumenten, um auch für die Dauer die Kreisform zu erhalten, unten in dem Halbkreise einen Einschnitt e (Fig. 8) an-

---

1) Brünnow, Sphärische Astronomie, S. 431 ff.

2) Es ist hier der eigenthümliche Umstand zu bemerken, dass das härtere Metall — der stählerne Zapfen — durch die Reibung weit mehr angegriffen wird als das weichere, das aus Messing verfertigte Lager.

3) Plantamour, Observations astronomiques faites à l'observatoire de Génève de l'année 1841, S. 5.

gebracht. Kreisförmige Lager sind übrigens im Ganzen nur selten angewendet worden.

26. Der eben beschriebenen Einrichtung weit vorzuziehen ist diejenige (Fig. 9), bei welcher die Zapfen sich in einem winkelförmigen Lager bewegen, da hierdurch der Vortheil erzielt wird, dass die Zapfen blos an zwei Punkten auf dem Lager aufliegen. Die Berührung geschieht dabei in der Art, dass der cylindrische Zapfen auf der etwas abgerundeten Seitenfläche des Lagers aufliegt. Was die Grösse des Winkels anbelangt, welchen die beiden Seitenflächen des Lagers mit einander einschliessen, so wurden bisher Winkel zu 45° oder zu 90°, seltener solche zu 60° angewendet. Allein auch hierdurch wird dem Missstande gegenseitiger Abnutzung der Zapfen und der Lager nur theilweise abgeholfen; Lamont hat deshalb die folgende Einrichtung für die Lager in Anwendung gebracht. [1])

Er gab nämlich denselben an denjenigen Stellen, wo sie mit dem Zapfen in Berührung kommen, scharfe Kanten (Fig. 10) und brachte zwischen diese Kanten und die Zapfen Glasplatten. Diese können sich dann auf den Kanten so richten, dass sie mit der ganzen Länge des Zapfens in Berührung kommen; es wird dadurch der Druck auf eine Linie vertheilt und die Abnutzung der Zapfen weit mehr vermindert als bei der vorigen Einrichtung.

27. Die Lager sind natürlich für die beiden Zapfen der Axe ganz gleich; die Vorrichtungen jedoch, welche die eigentlichen Lager tragen, unterscheiden sich — wenigstens bei den grössern feststehenden Instrumenten — insofern von einander, als auf der einen Seite eine Correction der Stellung des Lagers in verticalem, auf der andern Seite in horizontalem Sinne bewerkstelligt werden kann. Das eigentliche Lager bildet nämlich ein besonderes Stück, welches in einer Art von Rahmen vermittelst Schrauben in der angegebenen Richtung verschoben werden kann. Die verticale Bewegung (Fig. 11) dient dann dazu, die Axe genau in die horizontale Lage zu bringen; die horizontale Bewegung (Fig. 12) hat den Zweck, die Axe oder das auf ihr senkrecht stehende Fernrohr genau in eine bestimmte Verticalebene, z. B. bei den Meridianinstrumenten in den Meridian, einzustellen.

d. Vorrichtungen zum Umlegen horizontaler Axen.

28. Alle horizontalen Axen müssen dem in § 5 angeführten Grundsatze zufolge, um z. B. den Azimutalfehler des mit ihnen verbundenen Fernrohres bestimmen zu können, so eingerichtet sein, dass man sie umlegen, d. h. dass man die Zapfen in Bezug auf die Lager verwechseln kann. Bei den kleinen transportablen Instrumenten kann das Umlegen selbst leicht mit

---

1) Lamont, Jahresbericht der königl. Sternwarte bei München für 1858, S. 11.

der Hand bewerkstelligt werden; bei den grossen Instrumenten dagegen muss dies mittels eigener Vorrichtungen geschehen.

Die ältere Vorrichtung, wie sie schon v. Reichenbach zum Umlegen seiner Meridiankreise construirt hat, stellt Fig. 13 dar. Durch die Mitte eines starken hölzernen Gestelles *M M* geht eine eiserne Stange *A*, welche an ihrem obern Ende eine gabelförmige Vorrichtung *G G* trägt, deren Enden *a a* die Form der Fig. 13a haben.

Die Stange *A* bildet weiter unten eine Schraube *S S*, welche in das gezahnte Rad *R R*, mit dem ein Triebwerk verbunden ist, eingreift. Das Gestell *M M* ruht auf den Rollen *r r*, welche auf eisernen Schienen *e e* beweglich sind.

Die ganze Maschine schiebt man auf diesen Schienen unter die Axe des Meridianinstrumentes. Durch die Kurbel *C* kann die Gabel *G G* in die Höhe getrieben werden, sodass die Axe auf den Enden *a a* aufliegt; durch weiteres Drehen der Kurbel kann die Axe ganz aus den Lagern herausgehoben werden. Ist dies geschehen, so wird die Maschine sammt dem Instrumente aus den beiden Steinpfeilern herausgeschoben; sodann wird die Gabel mittels des Armes *B* um 180° gedreht, das Ganze wieder zurückbewegt und die Axe so in entgegengesetzter Lage auf die Lager zurückgebracht.

29. In neuerer Zeit hat man, um das Umlegen rascher zu ermöglichen und wenigstens die Gefahr für das Instrument selbst, welche namentlich beim Herausschieben aus den steinernen Pfeilern vorhanden ist, zu vermindern, das der eben beschriebenen Umkehrungsmaschine zu Grunde liegende Princip mit dem Instrumente selbst verbunden, indem man zwischen den Pfeilern eine gabelförmige Vorrichtung unveränderlich anbrachte, mittels welcher durch ein Triebwerk das ganze Instrument so weit aus den Lagern geschoben wird, dass es sogleich, d. h. eben, ohne dass es nöthig wäre, dasselbe aus den Steinpfeilern herauszuführen, umgelegt werden kann. [1])

Eine solche Vorrichtung, wie sie am Meridiankreise der Sternwarte zu Washington angebracht ist, zeigt Fig. 14. Unter der Axe *A A* des Fernrohres *F F* befindet sich die gabelförmige Vorrichtung *G G*, welche von einer hinreichend starken eisernen Schraube *S S* getragen wird. Diese Schraube geht durch die zwischen den Steinpfeilern *P P* befestigten Platten *M M* und *N N* hindurch und greift in ein gezahntes Rad *R R* ein, welches mit dem Triebwerke *T* verbunden ist. Mittels dieses Triebwerkes nun kann die Gabel *G G* und damit die Axe *A A* so weit in die Höhe gehoben werden, bis man das Instrument umkehren kann.

---

1) Ueber solche Umkehrungsvorrichtungen, welche mit dem Instrumente selbst unveränderlich verbunden sind, s. Struve, a. a. O., S. 169 ff., Taf. XXXII; Maury, Astronomical observations made during the year 1845 at the National Observatory Washington, Thl. I, Einleitung und Taf. IV, V u. VIII.

30. Bei den ältern Meridiankreisen, welche blos auf der einen Seite einen Kreis tragen, tritt beim Umkehren auch noch der Uebelstand ein, dass die auf beiden Seiten ungleichen Gegengewichte, welche zur Balancirung der Axe dienen, entweder nicht mit umgelegt werden, oder wenigstens, wenn dies geschieht, die an sich schon sehr langwierige Operation noch schwerfälliger wird; man hat diesen Missstand bei den neuern Instrumenten dadurch umgangen, dass man denselben zwei Kreise (KK und $K'K'$ in Fig. 6) gab und sie überhaupt auf beiden Seiten vom Fernrohre ganz symmetrisch construirte, sodass ein Umlegen der zur Balancirung dienenden Gegengewichte nicht mehr erforderlich ist. Es wurde auch die Balancirung selbst mit der am Instrumente unveränderlich angebrachten Umkehrungsvorrichtung vereinigt; wir werden die hierher gehörigen Einrichtungen in Abschnitt V noch ausführlicher behandeln.

IV. Axenverbindungen.

31. Soll dem Fernrohre eines astronomischen Instrumentes jede beliebige Richtung ertheilt werden können, so lässt sich dies durch eine Verbindung von mehreren einfachen Axenbewegungen zu Stande bringen und zwar für astronomische Zwecke am geeignetsten durch die Verbindung zweier auf einander senkrecht beweglicher Axen. Hierdurch wird nämlich der Vortheil erzielt, dass bei zweckmässiger Aufstellung einer solchen Axencombination zu gleicher Zeit die beiden Coordinaten eines Sternortes bestimmt werden können.

Eine Vorstellung dieser Art von Axenbewegung gibt im Wesentlichen Fig. 15. Die Axe AB, welche sich in der Büchse MM bewegt, trägt eine zweite senkrecht auf ihr stehende Büchse mm; in dieser bewegt sich die Axe ab, mit welcher das Fernrohr FF in Verbindung steht. Stellt man die Axe AB vertical, so hat man ein Instrument, mit welchem Höhe und Azimut gemessen werden kann; gibt man dieser Axe eine Neigung, welche der Polhöhe des Ortes, an dem das Instrument sich befindet, gleich ist, und stellt man dabei die Axe überhaupt parallel zur Weltaxe, so hat man die sogenannte parallaktische Aufstellung, welche bei den Aequatorealen, bei den grossen Refractoren und den Heliometern in Anwendung kommt.

32. Bei den Höheninstrumenten ist die Axe AB (Fig. 15) eine verticale, ab eine horizontale Axe; es sind also bei denselben die bereits erörterten Bedingungen zu erfüllen.

An den transportablen Höheninstrumenten sind die beiden Axenbewegungen in den meisten Fällen auf die in Fig. 21 angezeigte Weise mit einander verbunden. An dem obern Ende der verticalen Axe V ist nämlich eine Platte PP fest angeschraubt, welche die beiden Ständer M, M trägt,

an deren Enden sich die Lager L, L befinden; in diesen ruht dann die horizontale Axe $A\,A$, welche in der Regel an einem Ende ausserhalb der Lager das Fernrohr, am andern Ende dagegen einen verticalen Kreis trägt (s. Abschnitt V, § 131). Bei vielen transportablen Instrumenten befindet sich übrigens auch das Fernrohr zwischen den Lagern; an den grössern Ertel'schen Universalinstrumenten ist dabei an jedem Ende der horizontalen Axe ein Verticalkreis angebracht, sodass die Construction auf beiden Seiten vom Fernrohre ganz symmetrisch ist. Es ist zweckmässig (vgl. § 27), wenn hierbei dem einen Lager eine verticale Bewegung ertheilt werden kann, um die horizontale Lage der Axe genau herstellen zu können; Correctionsschrauben zu diesem Zwecke hat Ertel z. B. bei seinen Universalinstrumenten wirklich angebracht. [1])

33. Bei der parallaktischen Aufstellung können die beiden Axen an denjenigen Stellen, an welchen sie geführt werden, entweder Conus und Cylinder oder doppelter Conus oder doppelter Cylinder sein, sodass die Betrachtungen des § 13 auch hier in Anwendung kommen.

Fig. 16 zeigt die Axenverbindung, wie sie die im Merz'schen optischen Institute in München verfertigten, parallaktisch montirten Instrumente besitzen. [2]) Die Stundenaxe $S\,S$, deren geometrische Axe in einer zur Weltaxe parallelen Richtung stehen muss, trägt an ihrem obern Ende eine cylindrische Platte C, läuft von da trompetenförmig ab bis zur Führung f, woselbst sie cylindrisch ist; sodann verläuft sie konisch bis zur zweiten Führung f', wo sie wieder einen Cylinder bildet. Die beiden Führungen f und f' sind cylindrische Büchsen, welche etwas kürzer sein müssen als die cylindrischen Stellen der Axe, damit bei einer Ausdehnung oder Zusammenziehung derselben durch Temperaturveränderung kein Einzwängen stattfinden kann. Am untern Ende ist diese Axe abgerundet und wird daselbst in einem in der Platte P befindlichen Loche in der Art geführt, dass die Berührung nur in einem ganz kleinen Kreise statthat. Die Büchse $B\,B$ der Declinationsaxe ist an der am obern Ende der Stundenaxe befindlichen cylindrischen Platte C mittels 10 Schrauben befestigt; die Axe selbst ist an denjenigen Stellen, an welchen sie in ihrer Büchse geführt wird, Conus und Cylinder. Steinheil [3]) rundet bei seinen Aequatorealen das untere Ende der Stundenaxe ebenfalls sphärisch ab und lässt dasselbe dann auf einer polirten Achatplatte laufen.

Bei den Declinationsaxen muss der Druck der Axe gegen die Büchse aus den in §. 14 angeführten Gründen durch eine gegenwirkende Kraft auf

---

1) Sawitsch, a. a. O., Bd. I, S. 157.

2) Struve, a. a. O., S. 184 ff., Taf. XXXIV u. XXXVI.

3) Steinheil, Ueber Berichtigung des Aequatoreals: Astronomische Nachrichten, Bd. 52, Nr. 1233.

ein Minimum herabgebracht werden. Dieser Gegendruck wird hier gewöhnlich durch die sogenannten Ringfedern hergestellt, worüber das Nähere in Abschnitt V, §. 149 ff. abgehandelt werden soll.

34. Es ist hier noch die Verbindung zweier Axen anzuführen, wie sie im Kleinen namentlich bei einigen Balancirungsvorrichtungen unter der Bezeichnung der doppelten Axenbewegung häufig vorkommt. [1]) Eine cylindrische Axe ef (Fig. 20) nämlich geht durch eine ihr zur Führung dienende Büchse ab frei hindurch; mit dieser Büchse ist senkrecht gegen ef eine zweite cylindrische Axe cd fest verbunden, welche an ihren Enden in zwei entsprechenden Löchern geführt wird. Ein bei e und f befestigtes Stück kann demnach jede beliebige Richtung annehmen.

V. Axenbewegung in Spitzen.

35. Ehe wir diesen Abschnitt schliessen, ist nun noch eine Art von Axenbewegung zu erörtern, nämlich die Axenbewegung in Spitzen, welche darin besteht, dass die beiden Enden der Axe Spitzen sind, die sich zwischen zwei konischen Vertiefungen bewegen, welche zugleich die Führung der Axe bilden.

Was die Anwendung dieser Axenbewegung in grösserem Massstabe betrifft, so ist mir blos ein einziger Fall bekannt, nämlich die verticale Axe des Höhenkreises der münchner Sternwarte, welche am obern Ende ein Cylinder ist, unten dagegen in eine Spitze endigt. Diese Axe ist also eigentlich eine verticale Axe mit Cylinder und Conus, und die Bedingungen, welche bei derselben erfüllt sein müssen, sind im Grunde die in § 13 erörterten; sie bestehen nämlich darin, dass der Cylinder genau kreisrund sein und die Spitze mit der geometrischen Axe des Cylinders in einer geraden Linie liegen muss.

Mehrfache Anwendung dagegen hat die Axenbewegung in Spitzen im Kleinen gefunden, so z. B. bei kleinen excentrischen Fernröhren, bei den fliegenden Verniers und besonders bei den Reisserwerken an Theilmaschinen. [2])

---

1) Ueber die Anwendung der doppelten Axenbewegung s. Abschnitt V, § 151, 157.

2) Bei der Anwendung solcher Axen für die Reisserwerke der Theilmaschinen ist es ein Haupterforderniss, dass der Druck, welchen die Axe durch die Schrauben S, S (Fig. 19) erfährt, während der ganzen Operation der Eintheilung constant bleibe, da eine Aenderung dieses Druckes eine Verrückung der Lage des mit der Axe verbundenen Linienreissers zur Folge haben würde. Die Künstler, welche genaue Theilungen herstellen, ermitteln demnach durch Uebung den Punkt, bis zu welchem sie die Schrauben zu dem genannten Zwecke anziehen dürfen. Lamont hat bei dem Reisserwerke seiner Kreistheilmaschine einen solchen constanten Druck auf andere Weise und zwar dadurch hergestellt, dass er die cylindrische Axe an den Enden kugelförmig abrundete und dieselbe zwischen einer Glasplatte auf der einen Seite und einer starken Feder auf der andern Seite bewegen lässt.

Die Art und Weise, wie Axen mit Spitzen bei solchen Vorrichtungen angewendet werden, zeigt im Wesentlichen Fig. 19. Durch die beiden festen Arme A, A gehen die Schrauben S, S hindurch, die an ihren Enden konische Vertiefungen besitzen, zwischen welchen sich die mit den Spitzen s, s versehene Axe EE bewegt.

Die Schrauben S, S müssen so weit angezogen werden, dass die Bewegung der Axe zwar noch leicht, aber doch hinlänglich sicher bewerkstelligt werden kann; eine feste Regel lässt sich jedoch in dieser Hinsicht nicht angeben.

Zweiter Abschnitt.

Von den Kreisen.

I. Material, Grösse und Theilung astronomischer Kreise.

36. In früherer Zeit hat man an den astronomischen Instrumenten blos Kreisbogen angebracht und zwar solche von 90° — Quadranten — oder solche von 60° — Sextanten — oder auch solche von 45° — Octanten; gegenwärtig dagegen erhalten alle Instrumente mit Ausnahme der namentlich zur See gebrauchten Spiegelsextanten ganze Kreise.

Diese Kreise nun sind aus Messing oder Rothguss verfertigt. Sie sind von der verschiedensten Grösse, nämlich von wenigen Zollen im Durchmesser bei den transportablen Instrumenten bis zu einem Durchmesser von acht Fuss bei den Mauerkreisen angewendet worden. Die kleinen Kreise sind meistens volle Scheiben, während die grössern — schon von 9—10 Zoll im Durchmesser — radförmig gebaut sind; die erstern nennt man volle, die letztern durchbrochene Kreise.

Die Theilung ist nahe am Rande der Kreise angebracht; man nennt diesen Rand den Limbus. Würde man die Theilung auf dem Messing selbst auftragen, so würde die leichte Oxydirbarkeit dieses Metalls mancherlei Unannehmlichkeiten zur Folge haben; man nimmt deshalb aus dem Kreise einen Ring heraus und legt statt dessen Silber ein, welches zugleich noch den Vortheil gewährt, dass es eine viel feinere Theilung verträgt als das Messing. Bei den Sternwarten in der Nähe des Meeres wird auch dieses Metall durch die in der Seeluft befindlichen Salze stark angegriffen, und man hat an solchen Orten, um diesen Uebelstand zu beseitigen, andere Metalle in die Kreise eingelegt; so ist für Edinburgh Palladium, für Glasgow sogar Gold zu dem genannten Zwecke in Anwendung gebracht worden.

Um ein vollständiges Anpassen des eingelegten Metalls bewerkstelligen zu können, wird in der Praxis am zweckmässigsten auf folgende Weise verfahren. Es stelle $A\,B$ (Fig. 22) den Durchschnitt eines Kreises vor, wobei $c\,d$ und $c'\,d'$ die Form des ausgedrehten Ringes zeigen; dieser ist nämlich innen weiter als aussen. Um nun das Silber bequem einlegen zu können, treibt man dasselbe durch ein Zieheisen, welches ein schwalbenschwanzförmiges Loch hat; es wird so ein Streifen von der Form Fig. 23.

Diesen Streifen bringt man hierauf in den ausgedrehten Ring des Kreises und bewirkt durch Hämmern, dass sich das Silber genau an denselben anlegt. Nach dieser Operation wird der Kreis wieder abgedreht und sodann mit Kohle von Linden- oder Ahornholz [1]) sauber abgeschliffen.

Soll das Silber sich ganz am Rande des Kreises befinden, so ist diese Methode natürlich nicht anwendbar. Es wird dann wieder ein Ring $c\,d$ und $c'\,d'$ (Fig. 22 a) aus dem Kreise $A\,B$ und zwar ganz am Rande ausgedreht und in diesem Ringe hierauf das Silber mittels Stiften oder Schrauben befestigt. Dies ist z. B. bei den Reichenbach'schen Meridiankreisen der Fall.

37. Im Wesentlichen werden mittels eines Kreises Winkel dadurch gemessen, dass man an einem mit einer Axe verbundenen, um den Mittelpunkt des Kreises drehbaren und mit einer Marke versehenen Arme, welchen man die Alhidade nennt, die Grösse einer Drehung in Intervallen der Theilung bestimmt. Um auch noch die Unterabtheilungen dieser Intervalle berücksichtigen zu können, bringt man mit der Alhidade eigene Vorrichtungen in Verbindung, und zwar wurden bisher mehrere Arten solcher Einrichtungen angewendet. Ehe wir jedoch dieselben näher erörtern, sollen noch einige Betrachtungen über die Methoden vorausgeschickt werden, welche bei der Theilung von Kreisen angewendet worden sind.

38. Die Theilungen der Kreise sind entweder Originaltheilungen oder Copien von Originaltheilungen.

Nach Troughton [2]) wird, um eine Originaltheilung herzustellen, zuerst eine annähernd richtige provisorische Theilung auf dem Limbus aufgetragen, jedoch so fein, dass dieselbe leicht wieder abgeschliffen werden kann; ist diese Theilung hergestellt, so untersucht man mittels eines mikrometrischen Mikroskops [3]) die Entfernungen der einzelnen provisorischen Theilstriche. Nimmt man aus allen so erhaltenen Werthen das arithmetische Mittel und corrigirt man die einzelnen Theilstriche durch Anbringen ihrer Abweichungen

---

1) Man bereitet die Kohle, indem man die prismatisch geschnittenen Holzstückchen in einen Topf mit einem messingenen oder eisernen Deckel bringt, der mit Oeffnungen — Löchern — versehen ist, und ringsum Feuer anzündet.

2) Philosophical Transactions für 1809, S. 105 ff.

3) S. § 55 ff.

von diesem Mittel, so erhält man die richtigen Theilstriche, welche scharf eingerissen werden.

39. Einen andern, rein empirischen Weg hat v. Reichenbach bei der Construction seiner so berühmt gewordenen Theilmaschine eingeschlagen. [1]) Auf dem zu theilenden Kreise $K\,K$ (Fig. 24) brachte er zwei über einander befindliche Alhidaden $a\,b$ und $A\,B\,C$ an; die obere $a\,b$ hatte bei b eine Marke s, an dem Bogen $A\,B$ der untern Alhidade waren zwei Schieber l und l' angebracht, welche oben die feinen Striche s' und s'' hatten und in einem beliebigen Punkte dieses Bogens festgestellt werden konnten. Nun brachte v. Reichenbach die beiden Marken s und s' zur Coincidenz, drehte sodann $a\,b$, bis die Marken s und s'' auf einander fielen; hierauf bewegte er die Alhidade $A\,B\,C$, bis wieder die Striche s und s' coincidirten, und setzte diese Operation so lange fort, bis der ganze Kreisumfang durchlaufen war. Die beweglichen Schieber l und l' konnten nun in einer solchen gegenseitigen Lage festgestellt werden, dass der Bogen $s'\,s''$ einen bestimmten aliquoten Theil des ganzen Kreisumfangs betrug; war diese Stellung der Schieber ganz genau gefunden, so konnte mittels eines an der Alhidade $a\,b$ angebrachten Linienreissers die Originaltheilung auf dem Kreise $K\,K$ aufgetragen werden.

40. Die Methode des Uebertragens oder Copirens einer Originaltheilung besteht darin, dass man den Kreis, welcher getheilt werden soll, genau concentrisch auf den Kreis, auf welchem die Originaltheilung sich befindet — die Kreistheilmaschine — aufsetzt und mittels einer Alhidade, an welcher ein Reisserwerk angebracht ist, die einzelnen Theilstriche der Originaltheilung auf die entsprechenden Stellen des neuen Kreises überträgt.

Nach dieser Methode hat v. Reichenbach alle seine Kreise eingetheilt und sie ist auch gegenwärtig allgemein eingeführt; blos die ganz grossen englischen Kreise besitzen noch Originaltheilungen.

41. Ohne mich auf weiteres Detail einzulassen, füge ich nun für diejenigen Leser, welche sich näher für diesen Gegenstand interessiren, die Literatur über Kreistheilungsmethoden und Maschinen bei; die hierher gehörigen Schriften sind folgende:

L'abbé de Hautefeuille, Microscope micrométrique pour diviser les instruments de mathématiques dans une grande précision (Paris 1703).

J. Bird, The method of dividing astronomical instruments, published by the order of the Commissioners of longitude (London 1764).

J. Bird, The method of constructing mural Quadrants, exemplified by a description of the brass mural Quadrant in the Royal Observatory at Greenwich (London 1768).

Duc de Chaulnes, Sur une plateforme pour diviser les instruments de mathématiques: Mémoires de Paris (1765).

---

1) Gilbert's Annalen der Physik, Bd. 68, S. 33.

Duc de Chaulnes, Nouvelle méthode pour diviser les instruments de mathématiques et d'astronomie (Paris 1768).

Kästner, Eintheilung der Kreise und Uebersetzung von Bird's Verfahren: Astronomische Abhandlungen (Göttingen 1774), Bd. II, S. 186 ff.

Le Monnier, Description et usage des principaux instruments d'astronomie (Paris 1774).

M. J. Ramsden, Description of an engine for dividing astronomical instruments, published by order of the Commissioners of longitude (London 1777).

De Castillon, Sur la division des instruments de géometrie et d'astronomie: Abhandlungen der Berliner Akademie 1779 und 1780.

J. Smeaton, Observations on the graduation of astronomical instruments, with an explanation of the method invented by H. Hindley: Philos. Trans., 1786.

W. Ludlam, An introduction and notes on Bird's method of dividing astronomical instruments (London 1786).

Neue Art, mathematische und astronomische Instrumente abzutheilen, von Duc de Chaulnes, übersetzt von Halle (Berlin 1788).

Description d'une machine pour diviser les instruments de mathématiques par M. Ramsden, traduite par M. de Lalande (Paris 1790).

Geissler, Ueber die Bemühungen der Gelehrten und Künstler, mathematische und astronomische Instrumente einzutheilen (Dresden 1792).

Cavendish, On an improvement in the manner of dividing astronomical instruments: Philos. Trans., 1809.

E. Troughton, An account of a method of dividing astronomical instruments and other instruments by ocular inspection: Philos. Trans., 1809.

H. C. W. Breithaupt, Neue Erfindungen, enthaltend dessen Theilungsart etc. (Erfurt 1810).

Kater, An improved method of dividing astronomical circles and other instruments: Philos. Trans., 1814.

Schenk, Notice sur la machine à diviser et le théodolite (1815).

v. Reichenbach, Berichtigung der von Herrn Mechanikus Liebherr in München abgegebenen Erklärung über die Erfindung meiner Theilmaschine: Gilbert's Annalen der Physik, Bd. 68.

Treviranus, Beschreibung einer Methode, mittels zweier Alhidaden und mikroskopischer Hülfe den Kreis einer Theilmaschine zum Behufe der Theilung mathematischer Instrumente einzutheilen: Gilbert's Annalen, Bd. 69.

Pistor, Nachricht über eine in Berlin erbaute Theilmaschine (Berlin 1820).

Dove, Ueber Mass und Messen (2. Aufl., Berlin 1835), S. 133.

Simms, On a self-acting circular dividing engine: Memoirs of the Roy. Astron. Society, Vol. XV.

Rapport sur les machines à diviser de Perreaux et de Gambey: Comptes rendus de l'Acad. de Paris, 1849.

R. L. Jones, On the graduation of circles: Monthly Notices of the Roy. Astron. Society, 1852, Vol. XII.

42. Man kann die Theilung entweder durch Striche [1]) oder durch Punkte bezeichnen; gegenwärtig gibt man der Punkttheilung ziemlich allgemein den Vorzug. [2])

In der Neuzeit, wo die meisten Instrumente, an welchen sich verticale Kreise befinden, zwei getheilte Kreise erhalten, werden auf dem einen die Theilstriche oder Punkte stärker eingegraben als auf dem andern und auf ersterem auch weniger Theilungsintervalle aufgetragen als auf letzterem.

So ist z. B. bei dem von Repsold für die königsberger Sternwarte gelieferten Meridiankreise [3]) der eine zum Einstellen bestimmte Kreis von 3 zu 3 Minuten, der andere zum Ablesen dienende Kreis von 2 zu 2 Minuten getheilt. Manu nterscheidet demgemäss eine grobe und eine feine Theilung.

Was die Anzahl der Theilstriche betrifft, welche man bisher auf den Kreisen aufgetragen hat, so wurden im Allgemeinen immer so viele angebracht, als die Grösse der Kreise, ohne zugleich überladen zu werden, erlaubte. Wir werden auf diesen Punkt später (§ 74) bei der Betrachtung der Hülfsmittel zur Untersuchung der Theilungsfehler noch einmal zurückkommen.

43. Die Genauigkeit der Ablesung hängt bei den Kreisen theils mit der mechanischen Vergrösserung ihrer Dimensionen, theils mit der Grösse der angewandten optischen Kraft zusammen. Die englischen Künstler sind bei ihren Mauerkreisen in Bezug auf mechanische Vergrösserung möglichst weit, bis zu 8 Fuss Durchmesser gegangen, ja Ramsden hat sogar einen elffüssigen Kreis für Brinkley in Dublin geliefert. v. Reichenbach dagegen ist wieder zu kleinern Dimensionen zurückgekehrt; die grössten von ihm construirten Kreise hatten einen Durchmesser von 3 Fuss und einigen Zollen, über welche Dimensionen auch die übrigen deutschen Künstler nicht hinausgegangen sind.

v. Reichenbach ist nämlich von dem Grundsatze ausgegangen, dass die Anwendung starker optischer Vergrösserung bei der Ablesung grosse Dimen-

---

1) Gebraucht man die Strichtheilung, so ist bei der Operation der Eintheilung besonders darauf zu achten, dass der Meissel am Reisserwerke der Theilmaschine das Silber ganz heraushebt und nicht blos umlegt. Es ist dazu ausser einem eigenthümlichen Schliffe auch eine ganz bestimmte Härte des Stahls, aus welchem der Meissel besteht, erforderlich; dieselbe kann nur durch Versuche ermittelt werden, indem man den Meissel am vordern Ende so hart als möglich macht und dann so weit abschleift, bis er die erforderliche Härte besitzt.

2) Vgl. § 64.

3) Astronomische Beobachtungen auf der königl. Universitäts-Sternwarte zu Königsberg, Abthlg. 27, Thl. I, S. XII.

sionen, durch welche natürlich auch die Unregelmässigkeiten in der Homogenëität des verwendeten Materials vergrössert und vermehrt würden, überflüssig mache. Dabei ist aber andererseits zu beachten, dass die Theilungsstriche, auch wenn sie noch so fein gezogen sind, durch stark vergrössernde Mikroskope betrachtet, breit und auch theilweise an den Rändern unregelmässig begrenzt erscheinen, wodurch die Genauigkeit der Einstellung auf die Mitte derselben beeinträchtigt wird; dagegen kann man an grossen Kreisen natürlich ebenso feine Theilstriche anbringen als an kleinen und dann eine ganz genaue Einstellung auf die unter Anwendung mässiger optischer Kraft scharf begrenzt und schmal erscheinenden Striche bewerkstelligen. Dass die mechanische Vergrösserung der Dimensionen ihre Grenze hat, unterliegt keinem Zweifel; wo aber dieselbe liege, scheint mir zur Zeit kaum mit Bestimmtheit angegeben werden zu können.

II. Hülfsmittel zur Ablesung und Subdivision geradliniger und Kreistheilungen.

44. Die Grundsätze, auf welchen die Vorrichtungen zur Ablesung und Subdivision von Theilungen beruhen, sind bei den geradlinigen und Kreistheilungen genau dieselben; sie sollen deshalb hier für beide Arten von Theilungen zugleich erörtert werden.

Man hat zu dem genannten Zwecke im Allgemeinen vier Arten von Einrichtungen bisher angewendet, nämlich:

1. den einfachen Index,
2. Transversallinien,
3. den Nonius oder Vernier und
4. das mikrometrische Mikroskop.

1. Der Index.

45. Der einfache Index besteht bei geradlinigen Theilungen in einem am Ende zugespitzten Zeiger oder besser einem mit einer Marke (Index) versehenen Arme, welcher parallel mit der Theilung verschoben werden kann; es wird übrigens dabei dem Wesen nach nichts geändert, wenn man den Index fest und die Theilung beweglich einrichtet. Will man mit dieser Einrichtung eine bestimmte Entfernung messen, so lassen sich blos die ganzen Intervalle der Theilung direct ablesen, die Unterabtheilungen müssen geschätzt werden; die Genauigkeit der Ablesung hängt also von der Genauigkeit der Theilung und der Grösse der einzelnen Intervalle derselben ab. Sind z. B. die einzelnen Intervalle der Theilung Linien, so lassen sich ganze Linien direct, die Zehntel derselben durch Schätzung erhalten; sind die einzelnen Theilungsintervalle Zehntellinien, so lassen sich die Ganzen

derselben direct ablesen, die Hundertstel einer Linie schätzen; in beiden Fällen aber wird vorausgesetzt, dass die Theilstriche an ihrer richtigen Stelle sich befinden oder die Abweichungen hiervon genau bekannt sind.

46. Bei Kreistheilungen besteht der einfache Index in einer Marke, welche am Ende des Alhidadenarms angebracht ist, wobei wieder, ohne dass dem Wesen nach etwas geändert wird, entweder die Alhidade oder die Theilung — der Kreis — um das gemeinschaftliche Centrum beweglich eingerichtet werden kann. Auch hier müssen die Unterabtheilungen der Intervalle der Theilung geschätzt werden; man kann also z. B., wenn der Kreis in ganze Grade getheilt ist, diese direct ablesen, die Zehntel eines Grades dagegen nur durch Schätzung erhalten.

47. Bei der Ablesung mit dem einfachen Index muss das Auge genau senkrecht gegen die Marke stehen, weil sonst ein Fehler, welchen man die Parallaxe nennt, entsteht. Man rückt deshalb mit dem Auge beide Seiten der Theilung entlang etwas vorwärts und rückwärts, bis man den Fehler deutlich erkennt, und liest dann in der Mitte von beiden Stellungen ab. Der parallaktische Fehler kann aber auch durch eine eigene Einrichtung vermieden werden, nämlich dadurch, dass man die Theilung auf einem Spiegel mittels Diamants aufträgt; fällt dann das Bild des Index mit dem Index selbst zusammen, so hat man die richtige Stellung für das Auge, bei welcher abgelesen werden muss.

2. Transversallinien.

48. Diese Art der Ablesung wird bei geradlinigen Theilungen, besonders bei Massstäben angewendet, wo man sie häufig den verjüngten Massstab nennt. Die Einrichtung selbst beruht auf einfachen Sätzen aus der Geometrie über die Aehnlichkeit und Theilung der Figuren und besteht darin, dass man (Fig. 25) so viele gleich weit von einander abstehende und zur Grundlinie parallele Linien auf dem Massstabe zieht, als man Unterabtheilungen eines Intervalls noch direct ablesen will. Die Länge AB in der Figur sei z. B. 1 Zoll und in ganze Linien getheilt. Will man nun noch Zehntel einer Linie mittels Transversalen ablesen, so muss man zehn gleich weit von einander abstehende, zur Grundlinie parallele Gerade ziehen, hierauf die Länge des Zolls AB an der untersten und obersten Parallelen in ganze Linien theilen und den 12. Punkt der obern mit dem 11. der untern, den 11. Punkt der obern mit dem 10. der untern und so fort durch gerade Linien, d. h. die einzelnen Theilungspunkte durch Transversalen verbinden. Fällt nun z. B. der Endpunkt einer bestimmten Länge auf a, während ihr Anfangspunkt auf einen einem ganzen Zolle entsprechenden Theilstrich fällt, so hat man zu der betreffenden Anzahl ganzer Zolle noch 2,4 Linien zu addiren; wäre der Endpunkt auf b gefallen, so hätte man 8,7 Linien zu den ganzen Zollen hinzuzufügen.

49. Bei den ältern Quadranten [1]) sind diese Transversalen auch für die Kreistheilung angewendet worden, indem man so viele concentrische Kreise zog, als man noch Unterabtheilungen der ganzen Theilungsintervalle direct ablesen wollte, dabei den äussersten und innersten dieser Kreise ganz gleich eintheilte und die Theilungspunkte analog wie oben bei der geraden Theilung durch Transversalen verband; am Ende der Alhidade war dann ein Schieber angebracht, in welchem sich ein Faden zum Einstellen befand. Da übrigens die Einrichtung gegenwärtig nicht mehr gebraucht wird, so mag diese kurze Erwähnung hier genügen. [2])

3. Der Nonius oder Vernier.

50. Der Nonius oder richtiger Vernier [3]) bei geradlinigen Theilungen besteht aus einer zur Haupttheilung parallel beweglichen zweiten Theilung, deren Intervalle von denen der Haupttheilung an Grösse verschieden sind; man hat dabei jedoch zwei Arten zu unterscheiden, je nachdem n Intervalle der Haupttheilung gleich $n+1$ oder $n-1$ Abtheilungen der Verniertheilung sind.

Bezeichnet l die Länge eines Intervalls der Verniertheilung [4]), l' die Länge eines Intervalls der Haupttheilung, so hat man im ersten Falle

$$(n+1)\ l = n\,l'$$

$$l = \frac{n}{n+1}\,l' \quad \ldots \quad (1)$$

und ebenso für den zweiten Fall

$$l = \frac{n}{n-1}\,l' \quad \ldots \quad (2).$$

Theilt man demnach z. B. 9 Intervalle der Haupttheilung in 10 Abtheilungen am Vernier, so ist, wenn $l' = 1$ Linie, nach Gleichung *(1)* $l = {}^{9}/_{10}$ Linie; theilt man dagegen 11 Abtheilungen der Haupttheilung in 10 Intervalle

---

1) Lalande, Astronomie, Bd. II, S. 593.

2) Auch sogenannte Circular-Transversalen sind angewendet worden, welche verlängert durch den Mittelpunkt des Kreises gehen und welche geometrisch genauer sind als die geraden. Das Nähere hierüber findet sich in Lalande's Astronomie, a. a. O., und Kästner's Astronomischen Abhandlungen, zweite Sammlung, S. 171.

3) Pierre Vernier, La construction, l'usage et les propriétés du quadrant nouveau de mathématiques etc. (Brüssel 1631). Lalande fügt in seiner Bibliographie astronomique, S. 196, diesem Titel folgende Note bei: „C'est dans ce livre que se trouve l'invention de la division appelée jusqu'ici Nonius, et que j'ai appelée Vernier pour la restituer à son véritable inventeur.“ Die hierher gehörigen historischen Notizen hat Kästner zusammengestellt a. a. O., S. 161 ff.

4) Eine ganz allgemeine Theorie des Verniers findet sich in Brünnow's Sphärischer Astronomie, S. 435 ff.

am Vernier und ist wieder $l'=1$ Linie, so hat man nach Gleichung *(2)*: $l=^{11}/_{10}$ Linien.

Der Gebrauch des Verniers erhellt hieraus von selbst. Es sei Fig. 26 $A\,B$ die Theilung, $a\,b$ der Vernier, dessen 10 Theile gleich 9 Theilungsintervallen der Haupttheilung sind; der Nullpunkt des Verniers fällt zwischen 8,0 und 8,1 der Theilung, ausserdem coincidirt der dritte Punkt des Verniers bei α mit einem Striche der Theilung, die Ablesung ist also $=8{,}03$.

Ein Beispiel für den zweiten Fall gibt Fig. 27. Hier sind 11 Intervalle der Theilung in 10 Theile am Vernier getheilt; der Nullpunkt des Verniers fällt zwischen 7,9 und 8,0, ausserdem coincidirt bei α der siebente Punkt des Verniers mit einem Striche der Theilung, sodass man die Ablesung $8{,}00 - 0{,}07 = 7{,}93$ erhält. Würde man in diesem Falle die Verniertheilung in entgegengesetzter Richtung beziffern, sodass der Nullpunkt am Vernier an die Stelle gesetzt wird, wo in der Figur 10 steht, so hätte man direct die Ablesung $7{,}92^3$ gegeben.

51. Die angeführten Grundsätze lassen sich ohne weiteres auf die Kreistheilung übertragen, wenn man die Verniertheilung auf einem zur Haupttheilung concentrisch beweglichen Bogen am Ende der Alhidade anbringt. Auch hier kann man wieder n Intervalle der Kreistheilung entweder in $n+1$ oder $n-1$ Abtheilungen am Vernier theilen, doch wird gewöhnlich der erstere Fall wirklich angewendet.

Ist z. B. der Kreis in ganze Grade getheilt und theilt man 9 Grade in 10 Abtheilungen am Vernier, so kann man noch Zehntel von einem Grade, d. h. von 6 zu 6 Minuten ablesen.

Ist der Kreis in $^1/_6$ Grade, also von 10 zu 10 Minuten getheilt, und betragen 59 solcher Intervalle 60 Abtheilungen am Vernier, so geht die Ablesung bis $^1/_{60}$ von 10 Minuten, d. h. von 10 zu 10 Secunden.

Geht die Theilung am Kreise von 3 zu 3 Minuten und betragen 89 solcher Abtheilungen 90 Intervalle am Vernier, so lässt sich noch $^1/_{90}$ von 3 Minuten, also 2 Secunden direct ablesen.

In allen Fällen wird dabei die Verniertheilung so beziffert, dass man die Zahl über den coincidirenden Strichen zu der am Nullpunkte des Verniers erhaltenen Ablesung hinzuzufügen hat. Coincidiren nirgends zwei Striche der beiden Theilungen, so ist die Ablesung an derjenigen Stelle vorzunehmen, wo ein ganzes Vernierintervall zwischen zwei Striche der Haupttheilung fällt und zwar da, wo die Striche beider Theilungen näher bei einander liegen. Fällt dabei das Vernierintervall genau in die Mitte zwischen beide Striche der Haupttheilung, so fügt man zur Ablesung des vorhergehenden Strichs noch die Hälfte des Intervalls hinzu, dessen directe Ablesung der Vernier gestattet.

52. Hinsichtlich der Art und Weise, wie die Vernierbogen mit der Alhidade in Verbindung gebracht wird, hat man zwei Klassen von Verniers zu unterscheiden, nämlich:

1) den fliegenden Vernier und
2) den Vernier an ganzen Alhidadenkreisen.

Beim fliegenden Vernier ist der eingetheilte Bogen V (Fig. 28) gewöhnlich mittels Axenbewegung in Spitzen [1]) am Ende des Alhidadenarms $A\,A$ befestigt. Der Vernierbogen muss sich genau an die Kreistheilung anschliessen und deshalb der Alhidadenarm hinlänglich stark sein, damit keine Formänderung bei demselben vorkommen kann, welche ein Verziehen der Verniertheilung gegen die Kreistheilung zur Folge hätte. Um einen guten Anschluss des Verniers an die Theilung zu bewirken, haben einige englische Künstler denselben mittels einer oben angebrachten Feder gegen den Kreis andrücken lassen, doch ist diese Einrichtung nie in allgemeinen Gebrauch gekommen.

Bei der Anwendung von Verniers kann natürlich nur Strichtheilung mit Vortheil gebraucht werden; um dabei sicher ablesen zu können, müssen die Striche der Vernier- und der Kreistheilung auf einander projicirt erscheinen. Zu diesem Zwecke endigt der Bogen des fliegenden Verniers in eine scharfe Kante und die Striche sind auf demselben bis an den Rand ausgezogen, er ragt ferner in die Theilung des Kreises hinein und hat ausserdem eine gegen die Kreisebene etwas geneigte Lage.

53. Weit vortheilhafter ist die Einrichtung ganzer Alhidadenkreise, wie sie v. Reichenbach eingeführt hat. [2]) Es sind dies (Fig. 29) Kreise, welche sich genau concentrisch mit dem getheilten Kreise bewegen lassen und vollkommen an den letztern anschliessen; der Zwischenraum zwischen beiden Kreisen ist meistens so gering, dass er blos als eine ganz feine schwarze Kreislinie erscheint.

Der Alhidadenkreis ist aus demselben Metalle wie der Hauptkreis und unter gleichen Umständen gegossen. Da beide Kreise am Instrumente sich stets in der nämlichen Temperatur befinden, so wird die durch Erhöhung oder Erniedrigung derselben bewirkte Ausdehnung oder Zusammenziehung für beide in ganz gleicher Weise eintreten und der gegenseitige Anschluss fortwährend stattfinden.

Bei dem Hauptkreise befindet sich die Silbereinlage, die hier mit Stiften oder Schrauben befestigt ist, ganz an dem Rande, welcher sich an den Alhidadenkreis anschliesst. In diesen ist nur an einzelnen, in der Regel an vier um 90 Grade von einander abstehenden Stellen, v, v', v'', v''' (Fig. 29), ebenfalls an dem Rande, der dem Hauptkreise zugekehrt ist, Silber eingelegt, worauf dann die Theilung der Verniers sich befindet, deren Striche ebenso wie bei der Kreistheilung ganz bis an den Rand ausgezogen sind.

---

1) S. Abschnitt I, § 35.

2) v. Reichenbach, Nachricht von den Fortschritten der mathematischen Werkstatt in München. v. Zach, Monatliche Correspondenz, Bd. IX, S. 377.

Damit auch hier die Verniertheilung auf die Kreistheilung projicirt erscheine, muss die Ebene des Alhidadenkreises etwas tiefer liegen als die Ebene des Hauptkreises. So beträgt bei dem münchner Meridiankreise die Entfernung der getheilten Kreisfläche von der Fläche des Verniers 0,2 par. Lin. [1])

54. Die Ablesung beim fliegenden Vernier sowohl als bei den Verniers an ganzen Alhidadenkreisen geschieht gewöhnlich mittels einer Lupe *l* (Fig. 30), welche am Ende eines um den Kreismittelpunkt beweglichen Armes *a* angebracht ist; hinter der Theilung befindet sich ausserdem, um eine geeignete gleichmässige Beleuchtung derselben zu erhalten, eine kleine Blende *b*. Für diese Blenden wurden verschiedene Mittel verwendet, nämlich ganz feines weisses Papier, welches mit Oel getränkt wird, dann feines Milchglas, endlich mattgeschliffenes gewöhnliches Glas; als das beste ist wohl das Milchglas zu bezeichnen, doch ist dies nicht immer in der zu diesem Zwecke erforderlichen Beschaffenheit zu erhalten.

Bei der Vernierablesung kann ein Fehler vorkommen, der bereits in § 47 als die sogenannte Parallaxe bezeichnet wurde und von der unrichtigen (nicht senkrechten) Stellung der Augenaxe gegen die Theilung herrührt und welcher 2—3 Verniertheile betragen kann. Man vermeidet diese Parallaxe auch hier wieder dadurch, dass man mit der Lupe sowohl links als rechts so weit auf die Seite rückt, bis man den Fehler deutlich erkennt und dann in der Mitte von beiden Stellungen die Lupe stehen lässt und abliest.

4. Das mikrometrische Mikroskop.

55. Schon am Ende des vorigen Jahrhunderts waren Mikroskope anstatt der Verniers von den Engländern zur Ablesung der Kreise gebraucht worden, in Deutschland dagegen hat v. Reichenbach durch die Ausführung seiner Alhidadenkreise die Verniers lange Zeit in Ansehen erhalten; in neuerer Zeit wird jedoch auch auf dem Continente die Ablesung mittels mikrometrischer Mikroskope wenigstens bei den grössern Instrumenten allgemein in Anwendung gebracht. Bei diesen Mikroskopen nun hat man — wie dies schon die Benennung ausdrückt — zunächst zwei Haupttheile zu unterscheiden, nämlich:

1. das eigentliche Mikroskop *M M* (Fig. 31) und
2. die mikrometrische Vorrichtung *m*.

56. Das Mikroskop besteht aus drei Theilen: dem Objective, dem Oculare und dem diese beiden verbindenden messingenen Rohre.

Das Objectiv ist eine achromatische Doppellinse, nämlich eine biconvexe Crownglaslinse und eine concav-convexe Flintglaslinse; beide Gläser

1) Lamont, Jahresbericht der münchner Sternwarte für 1852, S. 20.

sind entweder mittels canadischen Balsams an einander gekittet oder durch dünne Stanniolblättchen von einander getrennt. Das Objectiv wird an dem der abzulesenden Theilung zugewendeten Ende des Rohres in einer geeigneten Fassung befestigt, und zwar befindet sich dabei das Flintglas zunächst an der Theilung.

Das Ocular besteht aus zwei planconvexen Linsen, bei welchen die convexen Seiten, um die sphärische Abweichung aufzuheben, gegen einander gekehrt sind; die beiden Linsen werden in einem eigenen Röhrchen befestigt, das an demjenigen Ende, welches dem Auge zugewendet ist, in das Hauptrohr des Mikroskops gesteckt wird und daselbst verschoben werden kann.

Bei den Mikroskopen, welche im Merz'schen optischen Institute in München zum Ablesen von Theilungen verfertigt werden, wird ausserdem noch zwischen das Objectiv und den Focus desselben eine sogenannte Collectivlinse gebracht, um die Farbenabweichung vollständig zu corrigiren.

57. Die mikrometrische Vorrichtung, deren Hauptzweck in der Subdivision der einzelnen Theilungsintervalle besteht, ist in Fig. 32 dargestellt.

In einem viereckigen Rahmen $A\,B\,C\,D$ befindet sich ein beweglicher Schieber oder Schlitten $S\,S$, welcher am Ende mit einer Schraube $s\,s$ versehen ist; diese Schraube bewegt sich nämlich in der Mutter m, welche mit dem Rahmen $A\,B\,C\,D$ in fester Verbindung steht. Wird nun die Schraube vorwärts bewegt, während der Rahmen festgehalten ist, so erhält auch der Schieber $S\,S$ eine vorgehende Bewegung. Ist ferner an dem durchbrochenen Theile $O\,O$ des Schiebers ein feiner Faden [1]) f befestigt, so kann man die geradlinige Entfernung zweier Punkte messen, wenn man diesen Faden vorerst mit dem einen Punkte coincidiren lässt und dann den Schieber so lange vorwärts bewegt, bis der Faden auch mit dem zweiten Punkte zur Coincidenz gebracht ist. Die Entfernung der beiden Punkte ist so durch die Anzahl von Schraubenumgängen gemessen, welche erforderlich waren, um den Faden von einem Punkte zum andern zu bewegen. Kennt man noch den Werth eines Umgangs der Schraube für ein beliebiges Mass, so kann man die Entfernung der Punkte auch in diesem Masse ausdrücken.

58. Damit nun aber auch die Schraube, wenn man sie rückwärts dreht, den Schieber wieder mit zurücknehmen kann, so wird an derselben hinten eine cylindrische Erhöhung c (Fig. 32 und 33) angebracht, welche an dem Verbindungsstäbchen $a\,b$ — dem sogenannten Stege — anliegt und so beim Zurückgehen der Schraube den Schieber mitführt. Ist zwischen c und dem Stege $a\,b$ ein kleiner Zwischenraum, so kann man die Schraube um ebenso viel, als dieser Zwischenraum beträgt, zurückbewegen, ohne dass der Schieber mitgeht. Ein solcher Zwischenraum, welcher in der Wirklichkeit stets vorhanden ist, heisst der todte Gang der Schraube (temps perdu der Franzosen); er liesse sich in der Praxis allerdings von Anfang an

---

1) S. Abschnitt III, § 95 ff.

beseitigen, allein man vermeidet dies schon deshalb, weil bei starkem gegenseitigen Andrücken der einzelnen Theile, besonders da, wo das Schraubenende an dem Schieber anliegt, die Abnutzung der Metalle durch die Reibung vergrössert wird und sodann mit der Zeit Ungleichheiten entstehen, welche die Genauigkeit der Messung beeinträchtigen. Der todte Gang ist übrigens ganz ohne Belang, wenn man alle Messungen durch Vorwärtsbewegen der Schraube ausführt.

59. Bringt man nun diese Vorrichtung mit dem in § 56 beschriebenen Mikroskope *M M* (Fig. 31) so in Verbindung, dass der Faden am Schieber genau in dem Focus des Oculars liegt, so kann durch die optische Kraft des Mikroskops die Messung mit weit grösserer Genauigkeit ausgeführt werden. Zur Erhöhung der Genauigkeit wird ausserdem noch bei dem Kopfe der Schraube eine ringförmige Trommel *T T* (Fig. 32) angebracht, welche am Rande in eine grössere Anzahl, z. B. 10 oder 100, Intervalle eingetheilt ist, um so noch Bruchtheile eines ganzen Umgangs der Schraube mit Sicherheit angeben zu können. Diese Unterabtheilungen werden durch einen mit dem Stege *a b* fest verbundenen Index *u* angegeben; die Trommel selbst darf dabei nicht festgemacht sein, sondern sie muss drehbar eingerichtet werden, um den Nullpunkt ihrer Theilung mit dem Anfange eines Intervalls der abzulesenden Theilung in Uebereinstimmung bringen zu können.

60. Will man möglichst grosse Genauigkeit erlangen, so ist vor allem erforderlich, dass nur ganz genaue Schrauben, bei denen alle Gänge die gleiche Länge besitzen, verwendet werden; man untersucht diesen Punkt, indem man dieselbe Länge mit verschiedenen Theilen der Schraube misst. Ebenso darf die Schraube nicht rauschig sein, d. h. der Winkel der einzelnen Theile eines Ganges mit der Axe muss constant sein, wenn die Ablesungen der Trommel richtig sein sollen. Diesen Punkt prüft man dadurch, dass man mit den einzelnen Theilen der Schraubengänge ganz kleine Längen misst, welche keinen ganzen Umgang, sondern z. B. blos einen halben oder Viertelumgang betragen. Rücksichtlich der Schraube ist ferner zu bemerken, dass dasjenige Ende derselben, welches an dem Schieber anliegt, kugelförmig abgerundet werden muss, um eine ganz gleichförmige Bewegung zu Stande bringen zu können; am andern Ende ist dann (Fig. 33) zunächst hinter den Schraubengängen die cylindrische Erhöhung *c*, welche an dem Stege anliegt und den Schieber beim Rückwärtsdrehen der Schraube mit zurücknimmt; hinter dieser Erhöhung ist der Cylinder *d*, auf dem der Steg sich befindet, und der Conus *b*, auf welchem die Trommel drehbar aufsitzt; ganz am Ende ist der drei- oder viereckige Zapfen *a* für den randrirten, d. h. mit abgerundeten kleinen Zähnen versehenen Schraubenkopf zum Drehen. Zwischen den Schraubenkopf und die Trommel wird die Kreisfeder [1]) *K*

1) Ueber diese Art von Federn s. Abschnitt V, § 149.

(Fig. 32) gebracht, welche die Trommel gegen den Conus *b* (Fig. 33) andrückt. Hinter dem eigentlichen Schraubenkopf wird in der Regel noch eine kleine Schraubenmutter zur Versicherung angeschraubt.

61. Um nun mit einem auf diese Weise eingerichteten Mikroskope Ablesungen an einer geradlinigen Theilung vornehmen zu können, muss dasselbe mit der Theilung so verbunden werden, dass es parallel zu derselben bewegt werden kann; es muss ferner dabei ein deutliches Bild der Theilung im Focus des Objectivs entstehen, zu welchem Zwecke das Mikroskoprohr senkrecht gegen die Theilung verschiebbar eingerichtet werden muss; zugleich muss aber auch, wie bereits erwähnt, der Focus des Oculars mit dem Focus des Objectivs zusammenfallen und der Faden am Schieber der mikrometrischen Vorrichtung in diesem gemeinschaftlichen Brennpunkte liegen. Um diese Stellung zu erhalten, wird der bezeichnete Faden ein- für allemal in den Focus des Objectivs gebracht; hierauf verschiebt man zuerst das Ocularröhrchen so lange, bis man ein scharfes Bild dieses Fadens erhält, und bewegt dann das ganze Mikroskoprohr senkrecht gegen die Theilung auf und ab, bis auch ein deutliches Bild dieser letztern durch das Ocular gesehen wird; man erkennt die richtige Stellung daran, dass, wenn der Faden mit einem Striche oder Punkte der Theilung coincidirt, keine Verschiebung beider statthat, man mag mit dem Auge etwas nach rechts oder links rücken.

Wird nun der Endpunkt einer bestimmten Entfernung, die gemessen werden soll, z. B. durch einen Index oder Zeiger *z* (Fig. 35) bezeichnet, so hat man nur den Abstand dieses Zeigers von dem vorhergehenden Striche oder Punkte der Theilung (*a b* in der Figur) auf die oben § 57 angegebene Weise zu messen, um die Ablesung zu erhalten. Man hat jedoch dann noch die Schraubenumgänge und ihre an der Trommel abgelesenen Bruchtheile in das auf der Theilung aufgetragene Mass zu verwandeln, was sehr leicht geschieht, wenn man den Werth eines Umgangs der Schraube kennt; am zweckmässigsten ist es, die Schraube so zu wählen, dass ein Umgang derselben genau einer bestimmten Unterabtheilung eines Theilungsintervalls entspricht.

62. Will man das mikrometrische Mikroskop zur Ablesung der Kreistheilungen benutzen, so muss es am Ende der Alhidade angebracht werden. Es muss auch hier wieder senkrecht gegen die Theilung verschiebbar sein; die richtige Stellung wird übrigens ganz auf gleiche Weise, wie vorhin für die geradlinige Theilung angegeben wurde, gefunden. Auch die Messung wird im Grunde auf die angeführte Weise vorgenommen; es ist dabei jedoch zu berücksichtigen, dass man so die Sehne in Schraubenumgängen erhält, während man den Bogen im Winkelmass ausgedrückt kennen will. Was den erstern Punkt betrifft, so werden mittels der Mikroskope stets so kleine Bogen gemessen, dass man hier keinen bemerklichen Fehler begeht, wenn man die Sehne mit dem Bogen verwechselt; was dagegen die Verwandlung

der Schraubenumgänge in Winkelmass anbelangt, so wird diese durch eine eigene Einrichtung am Mikroskope selbst bewerkstelligt.

63. Man bringt nämlich in dem Focus des Mikroskops, d. h. unter dem Schieber $S\,S$ (Fig. 32) bei $O\,O$ eine Vorrichtung von ganz dünnem Bleche an, welche in Fig. 34 besonders gezeichnet ist und bei welcher die Spitzen oder auch die Einschnitte gleich weit von einander entfernt sind und ausserdem die Entfernung der äussersten Spitzen oder Einschnitte einem Intervalle der Kreistheilung oder dem Vielfachen eines solchen gleich ist; diese Vorrichtung nennt man den Recher. Man richtet ferner die Mikrometerschraube so ein, dass eine bestimmte Anzahl von ganzen Umgängen derselben ebenfalls einem Intervalle der Theilung entspricht, und gibt dann dem Recher die gleiche Anzahl von Spitzen oder Einschnitten, sodass also ein Umgang der Schraube genau dem Intervalle zwischen zwei Spitzen oder Einschnitten gleich wird.

Beträgt nun, wie dies z. B. bei dem magnetischen Theodoliten von Lamont der Fall ist, ein Intervall der Kreistheilung einen Grad, hat ferner der Recher sechs Abtheilungen (sieben Spitzen), so ist eine solche Abtheilung = 10 Minuten; ist endlich die Trommel in 10 Theile getheilt, so gibt ein Theil 1 Minute, und da man noch ein Zehntel einer Abtheilung der Trommel bei einiger Uebung sicher schätzen kann, so lässt sich bei dieser Einrichtung bis auf 6 Secunden genau ablesen.

64. Es scheint hier am Platze, einige Punkte hinsichtlich der Anwendung der Strich- oder Punkttheilung bei der Ablesung mittels mikrometrischer Mikroskope anzuführen. [1]) Während nämlich die Theilstriche am Kreise convergiren, bewegt sich der Faden im Mikrometer parallel. Man hat aus diesem Grunde zwei parallele Fäden, in deren Mitte der Strich eingestellt wird [2]), oder auch unter einem spitzen Winkel zusammenlaufende Fadenkreuze [3]) benutzt, allein die Erfahrung zeigt, dass hierbei Schwierigkeiten für die genaue Einstellung entstehen. Bei der Punkttheilung dagegen lässt sich mittels eines einfachen Fadens ganz sicher einstellen; ferner ist der Umstand in Betracht zu ziehen, dass bei Punkten die Veränderung der scheinbaren Lage, welche durch eine Verschiedenheit der Beleuchtung entsteht, bedeutend geringer als bei Strichen ist.

65. Der letztgenannte Umstand macht es auch erforderlich, bei den Mikroskopen Vorrichtungen anzubringen, durch welche bewirkt wird, dass das Licht stets unter dem gleichen Winkel auf die Theilung auffällt; denn sowie sich dieser Winkel ändert, erhält man eine ungleiche Ablesung.

---

1) Lamont, a. a. O., S. 22, Note.

2) Encke, Astronomische Beobachtungen auf der königl. Sternwarte zu Berlin, Bd. I, S. IX.

3) Pond, Astronomical observations made at the Royal Observatory at Greenwich in the year 1832, Taf. II.

Am zweckmässigsten stellt man eine gleichförmige Beleuchtung dadurch her, dass man das Rohr des Mikroskops (Fig. 36) über das Objectiv *o* hinaus bis nahe an den Kreis verlängert, bei *m* eine Oeffnung ausschneidet und hinter derselben ein Planparallelglas *p* unter einer Neigung von 45° anbringt. Das Licht, welches zur Oeffnung *m* hereinkommt, wird dann gegen die Kreistheilung und zwar stets unter dem gleichen Winkel reflectirt; das Bild derselben aber entsteht wegen der parallelen Flächen des Planglases unverändert im Gesichtsfelde des Mikroskops. An die Stelle des Planglases können auch belegte Planspiegel gebracht werden, welche jedoch klein sein müssen, damit sie das Gesichtsfeld nicht verdecken.

Eine andere Art, die Beleuchtung zu reguliren, hat Lamont bei dem münchner Meridiankreise angewendet. [1]) Es sei *K K* (Fig. 37) ein Stück der Kreistheilung, *M* das Ende des Mikroskops; zwischen beiden nun befindet sich ein gegen die Theilung geneigter metallener Hohlspiegel *s*, welcher eine der Grösse des Mikroskopobjectivs gleiche Oeffnung besitzt. Bei Tage reflectirt dieser Spiegel das Licht stets unter gleichem Winkel auf die Theilung, bei Nacht bringt man eine Kerze in diejenige Stellung, in welcher die Beleuchtung am intensivsten erscheint; es hat auch durchaus keine Schwierigkeit, diese Stellung leicht und sicher aufzufinden.

66. Nach der in § 61 angegebenen Art, mit dem mikrometrischen Mikroskope die Ablesung zu bewerkstelligen, würde der Endpunkt einer geradlinigen oder Winkeldistanz im Gesichtsfelde des Mikroskops durch einen Index gegeben, dessen Entfernung vom nächstvorhergehenden Theilstriche mittels des Mikrometers zu messen wäre. In der Praxis wird übrigens die Ablesung in anderer Weise angestellt, weil sonst das Gesichtsfeld des Mikroskops sehr gross sein müsste, da nicht alle Theilungsintervalle durch beigesetzte Ziffern bezeichnet sind, oder weil bei kleinem Gesichtsfelde des Mikroskops eben an jeden Theilungspunkt die entsprechende Ziffer gesetzt werden müsste.

Um diese Inconvenienzen zu umgehen, bringt man einen Index ausserhalb des Mikroskops in der Art an, dass derselbe mit einem Theilungspunkte coincidirt, wenn der Anfang des Rechers im Gesichtsfelde ebenfalls mit einem solchen zusammenfällt, sodass also die Entfernung des Index und der ersten Spitze (oder des ersten Einschnitts) am Recher eine bestimmte Anzahl von ganzen Theilungsintervallen beträgt. Es steht dann im Gesichtsfelde des Mikroskops bei irgendeiner Einstellung ein Theilungspunkt um ebenso viel vom Anfange des Rechers entfernt, als der Index ausserhalb des Mikroskops von dem ihm vorhergehenden Theilungspunkte absteht, sodass also am Index die ganzen Intervalle, im Mikroskope durch die Entfernung des nächsten Theilstrichs vom Anfange des Rechers die Unterabtheilungen eines ganzen Theilungsintervalls gegeben werden.

---

1) Lamont, S. 22.

Zu bemerken ist noch, dass anstatt des einfachen Index dabei auch kleine Verniers angewendet worden sind.

67. Was die Art und Weise betrifft, wie die Mikroskope mit der Alhidade verbunden werden, so sind verschiedene Einrichtungen zu diesem Zwecke getroffen worden.

Bei den horizontalen Kreisen der transportablen Instrumente wird das Mikroskoprohr einfach an einem mit der Alhidade verbundenen, senkrecht oder häufiger etwas geneigt gegen diese stehenden Arme befestigt; da jedoch immer wenigstens zwei Mikroskope angewendet werden, welche einander genau diametral gegenüberstehen sollen, so muss dabei die Möglichkeit einer Correction der Stellung der Mikroskope in der Art vorhanden sein, dass, wenn der Anfang (die erste Spitze oder der erste Einschnitt) des Rechers an einem Mikroskope genau auf einen Theilungspunkt fällt, der Anfang des Rechers am andern Mikroskope mit dem Theilungspunkte, welcher um 180° von dem genannten absteht, ebenfalls genau zur Coincidenz gebracht werden kann. Man hat diese Correction der Stellung der Mikroskope in doppelter Weise ermöglicht.

Bei der einen Einrichtung bringt man an dem mit der Alhidade *A* (Fig. 38) verbundenen Arme *a a* einen Schieber *s s* an, welcher mittels der Schrauben *c*, *c* an einer beliebigen Stelle festgehalten werden kann; mit diesem Schieber steht der Ring *r* (oder unter Umständen mehrere solcher Ringe) in Verbindung, durch welchen das Mikroskop *M M* hindurchgeht. Es ist von selbst ersichtlich, wie hierdurch die Coincidenz des Anfangs am Recher mit dem entsprechenden Theilungspunkte bewerkstelligt werden kann.

Lamont dagegen hat bei seinem Theodoliten den Recher selbst verstellbar eingerichtet, indem er ihn an einem eigenen Blättchen anbrachte, welches mittels Schrauben an einer beliebigen Stelle des Rahmens der mikrometrischen Vorrichtung festgestellt werden kann. Das ganze Mikroskop wird dann auf die in Fig. 38a angezeigte Weise mit der Alhidade verbunden. Der Alhidadenarm *A* bildet nämlich eine Gabel, an deren Enden die beiden Ständer *a a* befestigt sind; zwischen diesen letztern befindet sich der Hohlcylinder *c*, welcher oben und unten die Rohre *r*, *r* trägt, durch die das Mikroskop hindurchgesteckt wird. Diese Rohre sind mit Einschnitten versehen, damit sie sich an das Mikroskoprohr federnd anschliessen und dasselbe so ganz festhalten.

In den meisten Fällen erhalten, wie erwähnt, bei den horizontalen Kreisen der transportablen Instrumente die Mikroskope eine gegen die Ebene des Kreises etwas geneigte Stellung, einmal weil dies für die Beobachtung selbst bequem ist, und, dann weil es oft wegen der Construction der über dem Horizontalkreise noch befindlichen Instrumententheile sogar nothwendig wird. Ist dann hierbei die Theilung des Kreises durch Striche aufgetragen, so tritt der Uebelstand ein, dass nicht alle Theile des Bildes der Striche im Mikroskope die gleiche Deutlichkeit zeigen können. Um diesen Uebel-

stand zu vermeiden, hat Ertel in neuerer Zeit in solchen Fällen den Limbus der Kreise geneigt abgedreht, sodass die Mikroskope auch hier senkrecht gegen die Theilung zu stehen kommen. Bei der Anwendung von Punkttheilung hat übrigens der genannte Umstand wegen der geringen Ausdehnung der Punkte keinen störenden Einfluss.

68. Während bei den horizontalen Kreisen der Kreis selbst feststeht, die Alhidade dagegen beweglich ist, findet bei den verticalen Kreisen das Gegentheil statt; hier ist nämlich in den meisten Fällen die Alhidade fest und der Kreis beweglich eingerichtet, wodurch übrigens, wie sich von selbst ergibt, dem Wesen nach in Bezug auf die Winkelmessung nichts geändert wird.

Bei den transportablen Instrumenten sind dann die Mikroskope durch Arme mit den Ständern *M M* (Fig. 21) verbunden, welche die horizontale Axe und mit dieser den verticalen Kreis tragen. Auch hier muss wieder eine Correction der genau diametralen Stellung der Mikroskope, welche wir im vorigen Paragraphen näher behandelt haben, entweder durch Verschiebung des ganzen Mikroskops oder durch einen beweglichen Recher bewerkstelligt werden können.

69. Von grosser Wichtigkeit ist eine zweckmässige Befestigung der Mikroskope an den Verticalkreisen der feststehenden Meridianinstrumente, da es sich bei diesen um ganz genaue Beobachtungen handelt. Es ist hierbei besonders darauf Bedacht zu nehmen, dass die Mikroskope entweder einen ganz unveränderlichen Stand beibehalten, oder dass doch wenigstens alle Aenderungen des Standes ihrer Grösse nach genau erkannt werden können.

Die englischen Künstler namentlich suchten einen ganz unveränderlichen Stand der Mikroskope zu erreichen und zwar dadurch, dass sie die Mikroskope an den Steinpfeilern [1]), zwischen welchen sich das Instrument befindet, oder bei den Mauerkreisen an der Mauer [2]), an die sich der Kreis anlegt, befestigten. Eine solche Einrichtung, wie sie am Meridiankreise der Sternwarte des Georgetown-College angebracht ist, zeigt Fig. 39, in welcher *K K* den einen Kreis des Instruments und *m*, *m* die am Steinpfeiler *P* befestigten Mikroskope darstellen.

70. Bei den von deutschen Künstlern construirten Instrumenten dagegen sind die Mikroskope an einer eigenen Alhidade angebracht, und es

---

1) S. darüber Bond, History and description of the astronomical observatory of Harvard College, S. XLVI. Annals of the astronomical observatory of Georgetown College, Nr. I, S. 193, Taf. VIII.

2) S. hierüber Pond, Greenwich observations made in the year 1832, Taf. I. Robinson, Description of the mural circle of the Armagh observatory and examination of its divisions: Memoirs of the Royal Astronomical Society, IX, 17. Maury, Astronomical observations made at the National Observatory Washington, Einleitung, S. XCI, Taf. VI.

werden dabei die Veränderungen, welche an dieser Alhidade vor sich gehen, vermittelst Libellen ihrer Grösse nach bestimmt. Bei dem berliner Meridiankreise wurden von Pistor die Mikroskope auf Bessel's Vorschlag an metallenen Kreuzen, welche mit den Steinpfeilern fest verbunden sind, befestigt [1]); bei dem pulkowaer [2]) und dem königsberger [3]) Meridiankreise hat Repsold dem Mikroskopträger die in Fig. 40 dargestellte Einrichtung gegeben. Mittels der Schrauben c, c, c, c ist nämlich die viereckige Platte E mit dem Steinpfeiler $P\,P$ verbunden; an diese Platte ist eine ringförmige Büchse $K\,K$ mittels der Schrauben s, s, s befestigt und zugleich in deren Mitte das Zapfenlager Z angebracht. Von dieser Büchse gehen die vier Alhidadenarme a, a, a, a aus, welche an ihren Enden die Mikroskope m, m, m, m tragen. Die Alhidadenarme sind durch die Querstäbe q, q, q, q verbunden, welche wieder durch die Speichen p, p, p, p mit der Büchse $K\,K$ in Verbindung stehen. Durch die Schrauben V, V kann eine schwache Drehung des ganzen Rahmens um seinen Mittelpunkt bewerkstelligt und so die Stellung der Mikroskope corrigirt werden. Die genau verticale Stellung des Rahmens kann mittels der Schrauben s, s, s hergestellt werden. Die beiden horizontalen Querstäbe tragen die Libellen L und L', welche die Veränderungen des Rahmens und dadurch auch der Stellung der Mikroskope erkennen lassen.

Gegen die Zuverlässigkeit der Libellen lassen sich jedoch, wie wir in Abschnitt VI (§ 176) sehen werden, mancherlei Zweifel erheben, und Lamont hat deshalb am münchner Meridiankreise die Mikroskope auf die in Fig. 41 angegebene Weise befestigt. [4])

An dem Steinpfeiler P ist nämlich mittels der drei Schrauben a, b, c eine sehr starke Eisenplatte $A\,B$ befestigt, an deren Enden die vier Mikroskope $m_1\ m_2\ m_3\ m_4$ angebracht sind. Hierbei ist die Unveränderlichkeit des Standes der Mikroskope bei der Stärke der Eisenplatte vorausgesetzt.

Dass bei allen diesen Einrichtungen die mehrfach erwähnte Correction der genau diametralen Stellung der Mikroskope entweder durch Verschiebung der ganzen Mikroskope oder der Recher ebenfalls erforderlich ist, bedarf kaum der Erwähnung.

---

1) Encke, Astronomische Beobachtungen auf der königl. Sternwarte zu Berlin, Bd. I, S. VIII, Taf. V.

2) Struve, a. a. O., S. 154, Taf. XXX.

3) Astronomische Beobachtungen auf der königl. Universitäts-Sternwarte zu Königsberg, Abthl. XXVII, Thl. I, S. XII, Taf. II.

4) Lamont, S. 21.

III. Excentricität bei getheilten Kreisen.

71. Es ist in Praxis schon an und für sich ungemein schwierig, einen Kreis genau concentrisch mit der Axenbewegung auf ein Instrument aufzusetzen; allein auch abgesehen hiervon, muss immer zwischen der Axe und ihrer Führung ein wenn auch sehr geringer Spielraum vorhanden sein, damit eine Bewegung wirklich stattfinden kann. Diese beiden Umstände nun erzeugen stets eine mehr oder weniger excentrische Bewegung der Axe gegen die Kreistheilung und dadurch einen Fehler in der Ablesung. Es lehrt aber die Theorie [1]), dass die Wirkung der Excentricität vollständig verschwindet, wenn man Ablesungen an einer beliebigen Anzahl von Orten vornimmt, welche in genau gleichen Intervallen am Kreisumfange vertheilt sind.

Aus diesem Grunde sind denn bei jedem Instrumente, welches mit einem getheilten Kreise versehen ist, wenigstens zwei genau diametral gegenüberliegende Verniers oder Mikroskope angebracht. Da aber eine Vermehrung der Ablesungen auch aus andern Gründen, und zwar namentlich um die unvermeidlichen Beobachtungsfehler dadurch (im arithmetischen Mittel) soviel als möglich zu verkleinern, wünschenswerth ist, so befinden sich an den grössern Kreisen in der Regel vier Verniers oder Mikroskope, welche Winkel von je 90° mit einander bilden. Bei den englischen Mauerkreisen findet man sogar sechs Mikroskope in Abständen von je 60° angebracht.

IV. Theilungsfehler der Kreise. — Repetition.

72. Die Unvollkommenheit unserer mechanischen Hülfsmittel, sowie überhaupt die Menge störender Einflüsse, welche während der Eintheilung der Kreise nicht vollständig beseitigt werden können, lassen einsehen, dass eine absolut genaue Kreistheilung, selbst wenn das der Theilungsmethode zu Grunde liegende Princip vollkommen richtig ist, nicht zu Stande gebracht werden kann, und die direct ausgeführten Untersuchungen haben dies auch bestätigt.

Man hat nämlich die Fehler der einzelnen Theilstriche an den Kreisen in zweifacher Weise zu ermitteln gesucht, entweder durch Messen des gleichen Winkels am ganzen Kreisumfange oder durch Halbiren der Winkel. Es kann nicht davon die Rede sein, diese Methoden hier näher auseinanderzusetzen, es handelt sich vielmehr für unsern Zweck um eine Erörterung der vorzüglichsten zur Untersuchung der Theilungen verwendeten Einrich-

---

1) Brünnow, Lehrbuch der sphärischen Astronomie, S. 438 ff.

tungen. Nur eins soll noch bemerkt werden, nämlich, dass man zwei Arten von Theilungsfehlern zu unterscheiden hat und zwar:

1) solche, welche ein bestimmtes Gesetz befolgen, und

2) die rein zufälligen Fehler.

Die Ursache der erstern Klasse von Fehlern liegt in den regelmässigen, stetigen Aenderungen am Theilungsapparate; es ist hier namentlich an die Wirkung der continuirlichen Zu- oder Abnahme der Temperatur auf die Metalle zu erinnern, welche man allerdings durch eigene Vorrichtungen soviel als möglich aufzuheben sucht, nie aber ganz zu beseitigen im Stande ist. Die zufälligen Fehler dagegen sind hauptsächlich durch die Unvollkommenheit in der mechanischen Ausführung der einzelnen Stücke der Theilmaschine und zwar vorzüglich der Reisserwerke bedingt.

73. Bessel hat für die Untersuchung der Theilung des an der königsberger Sternwarte befindlichen Reichenbach'schen Meridiankreises einen von Pistor verfertigten Apparat gebraucht [1]), welcher aus vier Mikroskopen bestand, die je zwei diametral gegenüber mittels zweckmässiger Klemmen an beliebigen Punkten der Alhidade befestigt werden konnten. Einen ähnlichen, ebenfalls von Pistor verfertigten Apparat hat auch Struve bei Untersuchung der Theilung am dorpater Meridiankreise angewendet. [2])

Repsold [3]) hat den Meridiankreisen für Pulkowa und Königsberg ebenfalls zwei Hülfsmikroskope zur Untersuchung der Theilung beigegeben, die mit dem in § 70 beschriebenen Mikroskopträger in Verbindung gebracht werden. Jedes dieser Hülfsmikroskope m' (Fig. 40a) befindet sich nämlich an einem Arme, welcher mittels der Schraube r an der Büchse ($K\,K$ in Fig. 40) des Mikroskoprahmens und mittels der verschiebbaren Klemme $n\,n$ an einem verticalen Querstabe dieses Rahmens festgestellt werden kann. Das Charnier p hat blos den Zweck, die Operation so leicht als möglich, d. h. ohne etwas in der Stellung des Rahmens zu ändern, vollziehen zu können. Das Hülfsmikroskop kann auf diese Weise an einer beliebigen Stelle zwischen zwei festen Mikroskopen angebracht werden.

Lamont [4]) hat am münchner Meridiankreise zur Untersuchung der Theilungsfehler die beiden diametral gegenüberliegenden Mikroskoppaare m_1, m_2 und m_3, m_4 (Fig. 41) angebracht, bei welchen die Mikroskope um je fünf Grade voneinander abstehen.

74. Die wirklich ausgeführten Untersuchungen von Kreistheilungen haben Fehler bei den einzelnen Theilstrichen ergeben, deren Kenntniss

---

1) Bessel, Astronomische Beobachtungen in Königsberg, Abthl. VII, S. IV.

2) F. W. Struve, Observationes Dorpatenses, Vol. VI, seu Nov. ser. Vol. III, p. XXXI.

3) Königsberger Beobachtungen, Abthl. XXVII, Thl. I, S. XIII. Struve, Description etc., S. 166.

4) Jahresbericht für 1852, S. 21.

allerdings nothwendig ist, wenn man ganz genaue, vom Instrumente möglichst unabhängige Beobachtungen erhalten will. Die Untersuchung ist jedoch ungemein zeitraubend. Bessel hatte für die Untersuchung von 96 Strichen am königsberger Kreise 22 Tage nöthig und würde [1]) demnach einen Zeitraum von 4—5 Jahren gebraucht haben, wenn er die Fehler der 7560 am ganzen Kreise aufgetragenen Striche mit gleicher Präcision hätte bestimmen wollen. Es wurden deshalb von den Astronomen bisher stets nur die Theilungsfehler weniger Striche bestimmt und die Fehler der dazwischen liegenden Theilstriche durch Interpolation ermittelt, wobei dann aber die unregelmässigen Fehler nicht berücksichtigt werden können. Dieser Umstand namentlich veranlasste Hansen [2]), an dem seeberger Meridiankreise eine eigenthümliche Einrichtung anzubringen, welche später auch am altonaer Meridiankreise ausgeführt worden ist. [3])

Diese Einrichtung besteht darin, dass man nur ganz wenige Theilstriche auf dem Kreise zur Ablesung benutzt, die Fehler derselben aber ganz genau bestimmt.

Die Unterabtheilungen dieser Intervalle werden an eigenen Hülfsbogen mittels mikrometrischer Mikroskope abgelesen; die Theilungen dieser Hülfsbogen, zu welchen von Hansen sogleich die Verniers am Alhidadenkreise benutzt wurden, müssen aber ebenfalls genau untersucht werden.

Dieser Vorschlag Hansen's verdient ohne Zweifel mehr Beachtung, als ihm bisher geschenkt wurde, zumal wenn man erwägt, dass die Künstler in der Regel nur eine geringe Anzahl von Strichen auf ihren Theilmaschinen, welche für die Theilung aller Arten (bezüglich der Grösse und der Anzahl der Striche) von Kreisen dienen müssen, auftragen und die Unterabtheilungen dann mittels Hülfsbogen anbringen.

Jedenfalls ist übrigens zu bemerken, dass bei der Anwendung von Mikroskopablesung eine genauere Untersuchung der Theilungsfehler erforderlich ist, als bei der Vernierablesung, da bei der letztern das Resultat der Ablesung blos den mittlern Fehler einer grössern Partie von Theilstrichen, bei den Mikroskopen dagegen den ganzen Fehler eines einzigen Strichs enthält. [4])

75. Um die Fehler der Kreistheilung durch die Beobachtung selbst

---

1) Hansen, Beschreibung der Einrichtungen, welche am Meridiankreise der seeberger Sternwarte angebracht worden sind, um grössere Genauigkeit in der Beobachtung der Verticalwinkel zu Wege zu bringen: Astronomische Nachrichten, Bd. XVII, Nr. 388, 389.

2) Hansen, a. a. O.

3) Peters, Notizen über den auf der altonaer Sternwarte befindlichen Meridiankreis: Astronomische Nachrichten, Bd. XLV, Nr. 1061.

4) Lamont, Jahresbericht für 1852, S. 22. Encke, Berliner Beobachtungen, Bd. I, S. XVI.

eliminiren zu können, wurde das von Tob. Mayer zuerst angegebene [1]) Princip der Repetition oder Multiplication der Winkel in Anwendung gebracht, welches darin besteht, dass man den nämlichen Winkel an verschiedenen Theilen der Kreisperipherie misst.

Man erreicht dies praktisch dadurch, dass man sowohl den Alhidadenkreis $K_1 K_1$ (Fig. 42) als auch den getheilten Hauptkreis KK, beide von einander unabhängig, aber natürlich concentrisch beweglich einrichtet. Der getheilte Kreis kann durch eine Klemme M' festgestellt werden, welche mit einem von der Axenbewegung unabhängigen Theile, z. B. in der Figur mit der Büchse B durch den Arm A, in fester Verbindung steht; er kann also beliebig verstellt und dadurch die Messung an verschiedenen Theilen desselben vorgenommen werden. Die Klemme M dient dazu, den Alhidadenkreis zum Behufe der genauen Einstellung mit dem Hauptkreise fest zu verbinden. [2])

Solche Repetitionskreise wurden in früherer Zeit von v. Reichenbach auch in grössern Dimensionen, z. B. für die Sternwarten in München, Paris, Mailand und Tübingen, ausgeführt; gegenwärtig wendet man die Repetition blos bei den horizontalen Kreisen der transportablen Instrumente, bei den verticalen Kreisen dagegen gar nicht mehr an.

Es kann auch noch in anderer Weise eine Repetition der Winkel bewerkstelligt werden, wobei der getheilte Kreis selbst eine feste Stellung erhält, dagegen das Fernrohr und die Alhidade gegen einander verstellbar eingerichtet sind; oder man macht die Alhidade fest und verstellt das Fernrohr gegen die Kreistheilung, wie dies z. B. Pond bei den Beobachtungen am greenwicher Mauerkreise gethan hat.

V. Schwerewirkung bei verticalen Kreisen.

76. Bringt man einen Kreis aus der horizontalen Lage in eine senkrechte Stellung, so müssen nothwendig die einzelnen Theile desselben durch ihre eigene Schwere einen Druck oder Zug auf einander ausüben und so eine Formänderung der Peripherie bewirken. Die Künstler nehmen auf diesen Umstand bei der Construction der Kreise im Allgemeinen dadurch Rücksicht, dass sie die Stärke der Speichen, welche den Limbus mit dem Centrum verbinden, von der Mitte gegen die Peripherie hin abnehmen lassen und dass sie zwischen diesen Speichen bei den grössern Kreisen ausserdem noch eine Anzahl gerader Querstäbe anbringen (Fig. 41).

---

1) Tob. Mayer, Nova methodus perficiendi instrumenta geometrica et novum instrumentum goniometricum: Commentarii Societatis regiae Gottingensis, 1752, Tom. I, p. 324.

2) S. Abschnitt IV, § 116.

Allein hierbei unterscheiden sich wieder die englischen Instrumente von den deutschen auf die bereits in § 4 angeführte Weise. Die Kreise nämlich, welche Ramsden, Troughton u. a. verfertigten, bestanden ursprünglich aus mehreren Stücken, welche einzeln gegossen und durch einen eigenthümlichen Process, das sogenannte Zusammenschmelzen, wobei das Metall durch eine nicht allgemein bekannte Manipulation an den Rändern erweicht wird, vereinigt wurden; v. Reichenbach dagegen, und nach ihm die übrigen deutschen Künstler, liess alle seine Kreise in einem einzigen Stücke giessen. Ferner sind die Speichen bei den englischen Instrumenten meistens hohle Röhren, bei den v. Reichenbach'schen Kreisen sind sie massiv und mit dem Limbus schon durch den Guss vereinigt.

77. Hinsichtlich des Einflusses, welchen die oben angeführte, durch die Schwere bedingte Formänderung der Kreisperipherie auf die Beobachtungen der Zenithdistanzen ausüben kann, haben sich mehrfach Discussionen zwischen den Astronomen entsponnen, die jedoch zu keinem endgültigen Resultate führten. Bessel [1]) hat diesen Einfluss auch zum Gegenstande theoretischer Untersuchungen gemacht, deren Erörterung jedoch nicht hierher gehört, weshalb ich auf das Original verweisen muss. Jedenfalls handelt es sich dabei um ganz geringe Grössen, deren Bestimmung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist, da auf die Beobachtungen der Zenithdistanzen auch noch viele andere, zur Zeit nicht hinlänglich untersuchte Umstände störend einwirken können. [2])

VI. Zonenapparate.

78. Die zonenweise Beobachtung des Himmels, bei welcher es sich darum handelt, in kurzer Zeit möglichst viele Sternpositionen, wenn auch nicht mit der äussersten Genauigkeit zu erhalten, hat schon Bessel, dem eigentlichen Begründer dieser Beobachtungsweise, Veranlassung gegeben, zu diesem Zwecke mit seinem Meridianinstrumente einige Hülfsvorrichtungen — einen sogenannten Zonenapparat — in Verbindung zu bringen.

Er befestigte nämlich [3]) an jedem Steinpfeiler des Instruments ein Fraunhofer'sches Mikroskop von 22 Zoll Länge, sodass die Kreistheilung

---

1) Bessel, Ueber die aus der Schwere hervorgehenden Veränderungen, die der Kreis eines astronomischen Instruments in der lothrechten Lage seiner Ebene erfährt: Astronomische Nachrichten, Bd. XXV, Nr. 577—579.

2) Lamont, Jahresbericht für 1852, S. 23.

3) S. darüber Bessel, Nachricht von einer auf der königsberger Sternwarte angefangenen allgemeinen Beobachtung des Himmels: Astronomische Nachrichten, Bd. I, Nr. 17. Briefwechsel zwischen Olbers und Bessel, herausgegeben von A. Erman, Bd. II, S. 206. Königsberger Beobachtungen, Abthl. VII, S. XXXV.

in beiden Lagen der Axe an der Rückseite der Pfeiler abgelesen werden konnte. Da jedoch diese Mikroskope nur ein kleines Gesichtsfeld hatten, so war es nöthig, einen Hülfsbogen KK (Fig. 43) von 5° Länge mit der Theilung T durch eine Klemme an derjenigen Stelle zu verbinden, an welcher eben eine Zone beobachtet werden sollte. Es war hierbei ferner erforderlich, um bei der Beobachtung nicht aus der betreffenden Zone herauszukommen, eine Vorrichtung herzustellen, durch welche die Grenzen dieser Zone bezeichnet wurden. Zu diesem Zwecke liess Bessel an dem Alhidadenkreise zwei Stifte befestigen, welche 2° 15′ aus einander standen und welche einen Hammer beim Vorübergehen etwas aufhoben und hörbar auf den Kreis niederfallen liessen. Bei dieser Einrichtung sind dann zwei Beobachter nöthig: einer für die Einstellungen am Fernrohre und einer, welcher die Ablesungen am Kreise oder eigentlich am Hülfsbogen vornimmt.

79. Argelander [1]) liess für seine Zonenbeobachtungen an der Axe des bonner Passageinstruments auf derjenigen Seite, auf welcher sich der Aufsuchungskreis nicht befand, eine messingene Büchse genau concentrisch mit der Axe aufsetzen und an dieser Büchse einen aus zwei starken Messingstäben, die wieder durch mehrere Querstäbe verbunden waren, feststehenden Arm anbringen, welcher an seinem einen Ende einen getheilten Gradbogen, dessen Halbmesser 18 Zoll betrug, und am andern Ende ein entsprechendes Gegengewicht trug. Die genannte Büchse konnte an jedem Punkte der Axe durch eine starke Klemmschraube festgestellt werden, sodass also der Arm jede beliebige Richtung erhalten konnte. Die Ablesung am Hülfsbogen geschah mittels eines mikrometrischen Mikroskops, während ein zweiter Beobachter die Einstellungen am Fernrohre besorgte.

80. Lamont [2]) dagegen hat mit dem Meridiankreise der münchner Sternwarte einen Zonenapparat verbunden, bei welchem ein einziger Beobachter hinreicht, und welcher in Fig. 44 im Wesentlichen dargestellt ist.

Mittels der eisernen Klammern b, b ist nämlich an dem östlichen Pfeiler des Instruments eine messingene Büchse $a\,a$ befestigt, in welcher sich der Ring $c\,c$, der durch Schrauben festgeklemmt werden kann, bewegt und zwar genau concentrisch mit der Axenbewegung des Fernrohrs. An diesem Ringe sind die Arme A und A' befestigt, von denen der erstere A das Mikroskop m, vor welchem sich eine an dem Fernrohre befestigte kleine Silberscala l — der sogenannte Zonenbogen — befindet, der letztere A' ein entsprechendes Gegengewicht trägt. Das Fernrohr wird durch eine Schraube mit dreifachem Gewinde bewegt, die mit Arretirungen versehen ist, damit die Bewegung nur innerhalb des Zonenbogens l stattfinden kann. Dieser Hülfs-

---

1) Argelander, Astronomische Beobachtungen auf der königl. Sternwarte zu Bonn, Bd. I, S. II.

2) Lamont, Observationes astronomicae in specula regia Monachensi institutae, Vol. XII, seu Nov. ser. Vol. VII, p. 1. Jahresbericht für 1852, S. 16.

bogen ist in ganze Minuten getheilt; um aber noch Unterabtheilungen derselben zu erhalten, war mit dem Mikroskope *m* eine mikrometrische Vorrichtung, wie wir sie in § 57 kennen gelernt haben, verbunden.

Später brachte Lamont jedoch anstatt dieses Mikrometers in den Focus des Mikroskops eine kleine Glasscala, auf welcher sich sieben Theilstriche — sechs Intervalle — befanden, die zusammen genau den Raum einer Minute einnehmen; jedes Intervall beträgt also 10 Secunden, und es kann so eine Secunde noch durch Schätzung abgelesen werden. Als ein Uebelstand dieses Zonenapparats ist der Umstand zu bezeichnen, dass er beim Umkehren des Meridianinstruments abgenommen werden muss. Auch für die wiener Sternwarte liess Lamont einen ganz ähnlichen Apparat ausführen, welchen v. Littrow [1]) beschrieben hat.

---

1) K. v. Littrow, Der Zonenapparat am Mittagsrohre der wiener Sternwarte: Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien, 1857, Bd. XXVIII, S. 443 ff.

Dritter Abschnitt.

Das Fernrohr.

81. Bereits in der Einleitung (§ 7) wurden als die zur Bestimmung eines Winkels nothwendigen Erfordernisse angegeben:

1) ein getheilter Kreis und
2) eine um den Mittelpunkt desselben an einer Axe bewegliche gerade Linie.

Anstatt dieser einfachen geraden Linie nun werden bei den astronomischen Winkelmessinstrumenten zwei unter einem Winkel — und zwar in der Regel unter einem rechten Winkel — fest verbundene Linien gebraucht. Die eine ist die Alhidade, mit welcher die Grösse einer Drehung an der Kreistheilung abgelesen wird; die andere dient zur genauen Einstellung auf die Endpunkte des zu dem betreffenden Winkel gehörigen Bogens. Es ist dies die optische Axe des Fernrohrs, über welches nun näher gehandelt werden soll. Das Fernrohr gewährt dabei hauptsächlich den Vortheil des deutlichern und vermehrten Sehens; der Erste, welcher es mit den astronomischen Messinstrumenten verbunden hat, ist der Engländer Gascoigne [1]), und zwar gebrauchte er es schon im Jahre 1640. Später, im Jahre 1667, haben [2]) Auzout und Picard, ohne von Gascoigne's Erfindung Kenntniss zu haben, das Fernrohr ebenfalls anstatt der Diopter mit der Alhidade des Mauerquadranten verbunden, und seitdem ist diese Anwendung des Fernrohrs auch in allgemeinen Gebrauch gekommen.

---

1) Derham, Extracts from Gascoigne's and Crabtree's lettres, proving Mr. Gascoigne to have been the inventor of the telescopic sight, of mathematical instruments and not the French: Philos. Trans., 1717, S. 603.

2) Lalande, Astronomie (3. Aufl.), II, 580.

82. Man kann im Allgemeinen zwei Arten von Fernrohren unterscheiden, nämlich katoptrische und dioptrische.

Die Fernrohre der erstern Klasse, die Spiegelteleskope oder Reflectoren, werden gegenwärtig mit Ausnahme einiger wenigen in England benutzten Instrumente nicht mehr angewendet; wir werden deshalb dieselben nicht weiter berücksichtigen.[1]) Im allgemeinen Gebrauche dagegen sind die dioptrischen Fernrohre, welche man auch Refractoren nennen kann; die Astronomen wenden übrigens diese Bezeichnung in der Regel blos bei den parallaktisch montirten Instrumenten von grossen Dimensionen an, die kleinern Instrumente bezeichnen sie als Fernrohre überhaupt.

I. Hauptbestandtheile des Fernrohrs.

83. Ein astronomisches Fernrohr besteht im Wesentlichen aus drei Theilen): dem Objective *O* (Fig. 56), dem Oculare *o* und dem Rohre *R*.

Die Anforderungen, welche man an das Objectiv eines guten Fernrohrs zu stellen hat, bestehen darin, dass es einmal frei von der Farbenabweichung, d. h. achromatisch, ferner frei von der sphärischen Abweichung, d. h. aplanatisch ist. Ein Objectiv, bei welchem diesen Bedingungen nach dem jetzigen Standpunkte der praktischen Optik Genüge geleistet ist, besteht aus zwei Linsen (Fig. 52), von denen die dem Objecte zugekehrte *A* biconvex und von Crownglas, die andere *B* concav-convex und von Flintglas verfertigt ist.

Diese beiden Linsen berühren sich jedoch nicht; sie sind durch drei um 120° von einander abstehende, genau gleich dicke Stanniolblättchen getrennt, welche in Fig. 53 durch *a*, *b*, *c* bezeichnet sind. Das so zusammengesetzte Objectiv ruht dann in einer messingenen ringförmigen Fassung blos an drei Punkten auf, welche den genannten drei Stanniolblättchen entsprechen; ausserdem werden wenigstens die grössern Gläser noch durch eine seitlich angebrachte Feder in einer unveränderlichen Lage gehalten. Ueber das Objectiv kommt in der Fassung ein Messingring — der sogenannte Federring — zu liegen, welcher so ausgefeilt ist, dass er ebenfalls blos an drei um 120° entfernten Punkten auf dem Crownglase aufruht. Dieser Ring ist

---

1) Eine sehr vollständige Behandlung der Reflectoren befindet sich in dem Art. Teleskop der neuen Ausgabe von Gehler's Physikalischem Wörterbuch, Bd. IX, Abthl. 1, S. 126. S. darüber auch W. Herschel, Description of a forty feet reflecting telescop: Philos. Trans., 1795; auch ins Deutsche übersetzt von Geissler (Leipzig 1799).

2) Was den rein optischen Theil des Fernrohrs betrifft, so ist derselbe bereits in andern Schriften sehr vollständig behandelt und deshalb hier im Allgemeinen als bekannt vorausgesetzt. S. Prechtl, Praktische Dioptrik (Wien 1828). J. v. Littrow, Dioptrik oder Anleitung zur Verfertigung der Fernröhre (Wien 1830).

durch drei Schräubchen an dem die Fassung bildenden Hauptringe befestigt und hält so die Objectivlinsen in der Fassung fest.

84. Es kann nach längerem Gebrauche eines Fernrohrs die Nothwendigkeit eintreten, das Objectiv desselben reinigen zu müssen. Fraunhofer [1]) selbst hat hierzu die nöthige Anleitung gegeben, welche in Folgendem besteht: Man nimmt nämlich die Gläser aus der Fassung heraus und putzt sie zuerst mit Weingeist und einem Stück Leinwand, wozu am besten alte ausgewaschene Leinwand verwendet wird. Sodann reibt man sie mit Kreidewasser [2]) und einem in Kreidewasser ausgewaschenen und wieder getrockneten Leinentuche ab; ein solches Tuch stäubt etwas und eben hierdurch wird der Schmutz am sichersten entfernt. Die liegen gebliebenen Kreidetheilchen werden mit einem feinen Haarpinsel abgewischt.

Nun legt man die beiden Linsen wieder gehörig auf einander und bringt auch neue Stanniolblättchen dazwischen, da die alten nicht mehr zu gebrauchen sind. Hierbei ist zu beachten, dass dieselben genau gleich dick sein müssen. Da aber selbst die von dem nämlichen Streifen Stanniol neben einander abgeschnittenen Blättchen von sehr verschiedener Dicke sein können, so muss man sich eine grössere Anzahl solcher Blättchen, welchen man am besten eine rechteckige Form gibt, abschneiden und dieselben sodann sortiren. Man kann hierbei die Dicke der Blättchen am Objective selbst prüfen. Wenn man nämlich die beiden Linsen desselben ohne Zwischenlage auf einander legt, so berühren sie sich, da der Krümmungsradius der concaven Seite der Flintglaslinse grösser ist als der an der convexen Crownglaslinse, in der Mitte und es entstehen die Newton'schen Farbenringe. Bringt man nun am Rande ein Stanniolblättchen zwischen die beiden Gläser, so entfernt sich der Mittelpunkt der Farbenringe um so weiter vom Mittelpunkte der Linsen, je dicker das Blättchen ist. Ist diese Entfernung von der Mitte für zwei Blättchen die gleiche, so besitzen sie auch dieselbe Dicke.

Ehe man die Dicke der Blättchen prüft, müssen sie zwischen zwei mattgeschliffenen Glasflächen etwas abgerieben werden, um alle Unebenheiten des Stanniols zu entfernen. Bevor man sie dann definitiv zwischen

---

1) Fraunhofer, Ueber das Reinigen achromatischer Objective und das Wiederhineinmachen derselben in ihre Fassungen: Astron. Nachrichten, Bd. III, Nr. 59.

2) Die Kreide muss hierbei ganz fein geschlämmt sein. Man erreicht dies dadurch, dass man das Gefäss, in welches das Wasser und die gestossene Kreide gebracht wurde, längere Zeit stehen lässt, bis sich die gröbern Kreidetheilchen zu Boden gesetzt haben. Hierauf giesst man den obern Theil der Flüssigkeit vorsichtig ab und wiederholt diese Operation mehrmals, bis nur noch ganz feine Kreidetheilchen im Wasser sich befinden. Zuletzt giesst man das Kreidewasser in flache Schalen; ist das Wasser verdunstet, so bleibt die ganze feine Kreide übrig, welche zum obigen Gebrauche aufbewahrt wird. Auf gleiche Weise schlämmt man auch den Smirgel; man kann sich so Sorten von verschiedener Feinheit herstellen, welche man nach der Zeit bezeichnet, während welcher das Wasser stehen gelassen wurde, sodass man von einem 5-Minuten-Smirgel, einem 10-Minuten-Smirgel u. s. w. sprechen kann.

die Linsen bringt, in welche sie alle drei gleichweit hineinragen müssen, benetzt man sie etwas mit in Wasser aufgelöstem arabischen Gummi und bringt das Objectiv in seine Fassung, ehe das Gummi abgetrocknet ist. Am Schlusse ist nur noch zu beachten, dass die drei Punkte, an welchen das Objectiv in der Fassung ruht, die drei Stanniolblättchen und die drei auf dem Objective aufliegenden Punkte des Federringes genau über einander zu stehen kommen.

85. Was die Oculare des Fernrohrs anbetrifft, so bedient man sich zu astronomischen Zwecken hauptsächlich zweier Arten desselben, nämlich:

1) des Huyghens'schen, welches aus zwei planconvexen Linsen a, b (Fig. 54) besteht, die eine solche Stellung haben, dass die beiden convexen Seiten dem Objective zugewendet sind. Bei Anwendung dieses Oculars fällt der Focus des Objectivs zwischen die beiden Linsen, weshalb auch zwischen denselben das Fadenkreuz $c\,d$, von welchem weiter unten noch näher die Rede sein wird (§ 95 ff.), aufgespannt ist. Mit einem solchen Oculare kann übrigens kein Mikrometer verbunden werden, weshalb man es hauptsächlich zur Beobachtung der Planetenoberflächen, der Finsternisse, bei den kleinen Theodolitenfernrohren und in ähnlichen Fällen anwendet. Wo es sich dagegen um genaue Messungen handelt, gebraucht man

2) das Ramsden'sche oder Mikrometerocular, für welches Fig. 55 die Form und Anordnung der Linsen darstellt, wo a die dem Objective zugewendete Linse bedeutet. Dieses Ocular besteht also wieder aus zwei planconvexen Linsen, welche jedoch diesmal ihre convexen Seiten einander zuwenden; es wird so in das Fernrohr eingestellt, dass der Focus des Objectivs vor den beiden Ocularlinsen liegt.

86. Das Rohr des Fernrohrs ist gewöhnlich aus Messing oder dem sogenannten Rothgusse verfertigt, blos bei den grossen, parallaktisch montirten Refractoren werden Rohre von Mahagoniholz angewendet.

Die Form des Rohres ist im Allgemeinen entweder cylindrisch oder konisch. Bei den Fernrohren an horizontalen Axen besteht das Fernrohr aus zwei cylindrischen (Fig. 57) oder — und dies ist bei den neuern Instrumenten durchweg der Fall — zwei konischen (Fig. 58) Hälften F und F', welche an den Cubus C, der einen Theil des Axenkörpers bildet [1]), angeschraubt sind. Bei den parallaktischen Instrumenten besteht das Rohr aus einem einzigen Stücke; es ist hierbei in der Regel am obern Ende der Declinationsaxe ein muldenförmiger Ansatz — halber hohler Cylinder oder Conus — $M\,M$ (Fig. 16) befestigt, in welchen das Rohr gelegt und durch zwei darauf geschraubte halbe Ringe R, R festgehalten wird.

Am einen Ende des Rohres ist die Fassung des Objectivs angeschraubt, am andern Ende befindet sich das Ocular. Im Innern des Rohres sind mehrere ringförmige Diaphragmen, sogenannte Blendungen, angebracht, die den

1) Vergl. Abschnitt I, § 18.

Zweck haben, das diffuse Licht abzuhalten, welches durch die Reflexion an den Glaswänden und der Wand des Rohres erzeugt wird.

87. Die Linsen des Oculars sind immer in einem eigenen Röhrchen befestigt, welches in das Hauptrohr gesteckt wird und verschiebbar eingerichtet ist, um genau auf den Focus des Objectivs einstellen zu können.

Diese Verschiebung wird dann häufig auf die in Fig. 60 angezeigte Weise bewerkstelligt. An der Ocularröhre ist nämlich eine gezahnte Spange AB befestigt, in welche das gezahnte Rädchen R eingreift. Dieses Rädchen ist durch einen Stift, welcher durch das Hauptrohr geht, mit einer ausserhalb desselben befindlichen, einem Schraubenkopfe ähnlichen randrirten Scheibe S verbunden; wird nun diese Scheibe gedreht, so schiebt das gezahnte Rädchen die Ocularröhre je nach der Drehung vorwärts oder rückwärts.

Das Auge muss bei der Beobachtung eine solche Stellung gegen die äussere Ocularlinse erhalten, dass alle aus dieser austretenden Strahlen auf der Netzhaut vereinigt werden. Bei den Fernrohren ist nun gewöhnlich ein Deckel mit ringförmiger Oeffnung am Ende des Ocularröhrchens aufgesetzt, der in eine Entfernung von der äussern Linse gestellt wird, welche ungefähr der Hälfte der angeführten richtigen Distanz des Auges gleichkommt. [1])

88. Sollen die einzelnen Linsen im Fernrohre ihren Zweck wirklich erfüllen, so müssen die Axen aller Flächen der Linsen in einer geraden Linie liegen, d. h. die Linsen müssen centrirt sein. Das Centriren der Linsen ist eigentlich das Geschäft des praktischen Optikers; man hat jedoch mehrfach die Ansicht ausgesprochen, dass mit der Zeit die genaue Centrirung verloren gehen könne. Bei dem Northumberland Equatoreal ist [2]) sogar die Einrichtung getroffen, dass eine Verschiebung der beiden Objectivlinsen gegen einander vom Ocularende aus zum Zwecke der genauen Centrirung durch die Beobachtung selbst bewerkstelligt werden kann; die richtige Stellung findet nämlich dann statt, wenn man das bestmögliche Bild eines beobachteten Objects erhält. Es kann durch diese Einrichtung zugleich die Neigung des Objectivs gegen das Rohr etwas geändert, d. h. das Objectiv kann gegen das Rohr centrirt werden.

Diese Centrirung des Rohres wird nach der Angabe von Prechtl [3]) mittels eines kleinen Fernrohrs bewerkstelligt, das auf drei abgerundeten Stiften auf das Objectiv aufgesetzt werden und durch welches man zugleich in das Hauptfernrohr hineinsehen kann. Gibt man dem kleinen Fernrohre hierbei eine solche Lage, dass sein Fadenkreuz die Oeffnung am Oculare des Hauptfernrohrs in der Mitte durchschneidet, so muss dies bei richtiger

---

1) Littrow's Dioptrik, S. 188.

2) Airy, Account of the Northumberland Equatoreal and Dome, attached to the Cambridge Observatory, S. 32.

3) Praktische Dioptrik, S. 275.

Stellung des Objectivs gegen das Rohr auch dann noch stattfinden, wenn man die drei abgerundeten Stifte, welche mit dem kleinen Fernrohre verbunden sind, an einer andern Stelle auf dem Objective aufsetzt. Um im gegentheiligen Falle demselben die richtige Stellung geben zu können, sind wenigstens bei den münchner Objectiven an der Fassung in Entfernungen von 120° drei Stellschrauben und drei Ziehschrauben angebracht, durch welche die Neigung des Objectivs gegen das Rohr geändert werden kann.

89. Da bei den sehr stark vergrössernden Fernrohren das Gesichtsfeld sehr klein ist, so ist es schwer, mit denselben am Himmel ein bestimmtes Object aufzufinden; man hat deshalb mit dem Rohre der grossen Refractoren kleinere Fernrohre verbunden, welche ein sehr grosses Gesichtsfeld bei mässiger Vergrösserung haben. Ein solches Fernrohr F, welches man einen Sucher nennt, zeigt Fig. 16. Dieser Sucher muss immer eine solche Stellung erhalten, dass ein Object, welches in die Mitte seines Gesichtsfeldes gebracht ist, zugleich auch in der Mitte des Feldes des Hauptfernrohrs sich zeigt.

II. Gebrochene Fernrohre.

90. Bisher war blos von geraden, d. h. von solchen Fernrohren die Rede, deren optische Axe eine gerade Linie bildet; es werden jedoch bei den astronomischen Instrumenten auch sogenannte gebrochene Fernrohre angewendet, deren Einrichtung die totale Reflexion des Lichtes in einem gleichschenkligen, rechtwinkligen Prisma zu Grunde liegt.

Tritt nämlich ein Lichtstrahl $a\,b$ (Fig. 59) in das bei A rechtwinklige und gleichschenklige Glasprisma $A\,B\,C$ bei m senkrecht gegen $A\,B$ ein, so geht er bekanntlich ungebrochen und ohne eine Dispersion zu erfahren durch, bei D erfährt er eine totale Reflexion und tritt bei m' wieder senkrecht gegen $A\,C$ aus dem Prisma heraus. Bringt man demnach ein solches Prisma in die Richtung der optischen Axe eines Fernrohrs und zwar so, dass die eine Kathetenfläche senkrecht gegen dieselbe steht, so wird die optische Axe dadurch gebrochen, und man kann dann auf dreifache Weise ein gebrochenes Fernrohr herstellen, je nachdem man das Prisma

1) vor das Objectiv,
2) vor das Ocular oder
3) zwischen das Objectiv und Ocular eines Fernrohrs bringt.

Hier kann man wieder zwei Unterfälle trennen, je nachdem sich das Prisma

a) innerhalb der Focaldistanz des Objectivs oder
b) innerhalb der Focaldistanz des Oculars

befindet.

91. Wenn man diese Fälle einzeln näher untersucht, so findet man, dass in den beiden ersten derselben die Güte des Bildes im Focus des Fernrohrs nicht leidet, da die Lichtstrahlen bei der grossen Entfernung der

Himmelsobjecte parallel auf das Prisma auffallen; man hat also nur die eine Kathetenfläche desselben senkrecht gegen den Weg der Lichtstrahlen zu stellen. Dagegen fallen im dritten Falle die Strahlen des durch das Objectiv gebildeten Lichtkegels immer unter einer Neigung auf die Fläche des zwischen Objectiv und Ocular befindlichen Reflexionsprismas auf; es entsteht demnach beim Eintritte derselben in das Prisma eine Farbenzerstreuung, durch welche die Güte des im Focus des Objectivs entstehenden Bildes offenbar, wenn auch, wenigstens bei den Fixsternen, nur in ganz geringem Masse, beeinträchtigt wird.

Noch weit störender als dieser Umstand wirkt aber auf die Güte des Bildes jede irgendwie eintretende Verunreinigung der Hypotenusenfläche des Prismas. Entsteht nämlich z. B. durch das in der Luft befindliche Wasser ein Ueberzug an der genannten Fläche, so verändert sich das Brechungsverhältniss für die auf diese Fläche auffallenden Lichtstrahlen und es hat dann keine totale Reflexion mehr statt. Um eine solche Anlagerung, welche mit der Zeit immer eintritt, zu vermeiden, kann man hinter der Hypotenusenfläche in geringer Entfernung eine Glasplatte anbringen und den dazwischen befindlichen Raum dadurch, dass man die Ränder gut verkittet, ausser jeder Verbindung mit der äussern Luft setzen.

92. Der erste der oben angeführten Fälle eines gebrochenen Fernrohrs, bei welchem das Reflexionsprisma vor dem Objective sich befindet, ist von v. Steinheil bei seinem Meridiankreise [1]) ausgeführt worden, bei welchem die horizontale Axe zugleich das Rohr für das Fernrohr bildet; eine Anwendung des zweiten Falles findet sich bei den Fernrohren der v. Reichenbach'schen Höhenkreise, bei denen nämlich das Prisma vor dem Oculare angebracht ist. Am häufigsten dagegen ist der, wie wir gesehen haben, ungünstigste dritte Fall und zwar der erste Unterfall desselben ausgeführt worden.

93. Bei den Instrumenten mit horizontalen Axen ist dann das Prisma P (Fig. 62) in den Cubus $C\,C$ der horizontalen Axe $A\,A'$ gebracht. Die Lichtstrahlen treten durch das Objectiv O in das Rohr R ein und gelangen dann zum Prisma P; sie erleiden hier die totale Reflexion und gehen durch die hohle Axenhälfte A' zum Oculare o. Die beiden den rechten Winkel des Prismas einschliessenden Flächen müssen hierbei genau senkrecht auf der optischen Axe des Fernrohrs stehen; man kann diese richtige Stellung dem Prisma entweder von Anfang an unveränderlich geben oder noch besser durch Anbringen von Correctionsschrauben s und s' die jeweilige Berichtigung dieser Stellung ermöglichen [2]), wobei man das Prisma in derjenigen

---

1) v. Steinheil, Ueber einen neuen Meridiankreis: Astronomische Nachrichten, Bd. XXIX, Nr. 684.

2) Sawitsch, Abriss der praktischen Astronomie, Bd. I, S. 105.

Lage feststellt, bei welcher es die grösste Deutlichkeit des Bildes eines betrachteten Objects zeigt.

Was das Rohr anbelangt, so muss auf der entgegengesetzten Seite des Cubus entweder die andere Hälfte oder — wie dies die Figur zeigt — ein entsprechendes Gegengewicht G angebracht sein, damit das Fernrohr sich in jeder Lage im Gleichgewichte befindet.

Diese Art der gebrochenen Fernrohre findet sich insbesondere bei den transportablen Instrumenten; Lamont hat auch das neue Meridianinstrument der münchner Sternwarte auf diese Weise eingerichtet. Man erreicht hierbei den Vortheil, dass selbst die Sterne, welche sich ganz in der Nähe des Zeniths befinden, bequem beobachtet werden können.

94. An denjenigen Instrumenten, bei welchen sich das Fernrohr sehr nahe an der Ebene verticaler Kreise befindet — es ist dies z. B. bei den Mauerkreisen oder den v. Reichenbach'schen Theodoliten bei verticaler Stellung des Kreises der Fall — ist das Prisma häufig ganz in der Nähe des Focus des Objectivs, jedoch noch innerhalb der Focaldistanz desselben angebracht worden, wie dies Fig. 61 zeigt, wo O das Objectiv, o das Ocular und P das Prisma darstellt, welches sich hier in einer mit dem Ocularröhrchen verbundenen Kapsel befindet. Auch in diesem Falle muss wieder die richtige Stellung des Prismas gegen die optische Axe entweder von Anfang an unveränderlich hergestellt werden oder mittels Correctionsschrauben zu jeder Zeit bewerkstelligt werden können.

Sowohl bei dieser als der vorhergehenden Einrichtung gebrochener Fernrohre erhält das Bild des betrachteten Objects, das im geraden astronomischen Fernrohre umgekehrt erscheint, seine natürliche Lage wieder.

III. Fäden und Fadennetze in Fernrohren.

95. Da man sich nicht damit begnügen kann, einen Punkt von einem betrachteten Objecte blos im Gesichtsfelde des Fernrohrs zu haben und denselben allenfalls nach dem Augenmass in die Mitte des Feldes zu bringen, so musste man auf Mittel denken, durch welche eine genaue Einstellung ermöglicht wird. Zu diesem Zwecke nun dient das Fadennetz, welches schon Gascoigne [1]) zugleich mit der Anwendung des Fernrohrs an den astronomischen Messinstrumenten in den gemeinschaftlichen Focus des Objectivs und des Oculars gebracht hatte.

Die einfachste Einrichtung dieser Art besteht darin, dass man zwei unter einem Winkel sich kreuzende Fäden in den Focus des Fernrohrs bringt, um bei der Beobachtung den Kreuzungspunkt mit dem Punkte, auf welchen eingestellt werden soll, vergleichen zu können.

---

1) Vgl. oben § 81.

96. Zu diesen Fäden nun wurden die verschiedenartigsten Substanzen verwendet. Dechales [1]) gebrauchte Pferdehaare, der Marchese Malvasia [2]) im Jahre 1662 zuerst feinen Silberdraht; Auzout [3]) und Picard [4]) verwendeten seidene Fäden und Haare dazu.

Wollaston [5]) stellte Gold und Platindrähte von nur $^1/_{18000}$ Zoll Dicke durch ein eigenthümliches Verfahren her, welches Ulrich [6]) noch in einigen Punkten verbesserte. Man bringt nämlich einen Gold- und Platindraht in die Axe eines Silbercylinders von viel grössern Dimensionen, welcher dann auf die gewöhnliche Weise zu einem dünnen Drahte ausgezogen wird. Diesen Draht nun schlägt man nach Ulrich in kurze Stücke und befestigt Platinringe an den Enden derselben. Die Ringe werden in Haken eingehängt und der Draht so lange in erhitzte Salpetersäure gebracht, bis die Silberhülle aufgelöst ist und nur der ganz feine Platin- oder Golddraht übrig bleibt. Man bringt diese Fäden dann zur Aufbewahrung zwischen zwei ebene Platten, und Ulrich empfiehlt, für diese das gleiche Material zu verwenden, aus welchem die Fäden bestehen, weil sonst bei verschiedener Ausdehnung die letztern leicht verletzt und zerrissen werden könnten.

Brewster [7]) brachte gesponnene Glasfäden in Vorschlag, welche nur eine Dicke von $^1/_{2200}$ Zoll besitzen, scharf begrenzt und mit einer feinen Lichtlinie in der Mitte erscheinen sollen; auch feine Siegellackfäden [8]) und von Goring [9]) eigenthümlich bereitete Kautschukfäden sind vorgeschlagen worden.

Endlich sind auch noch Spinnenfäden gebraucht worden, welche schon Fontana [10]) zuerst empfohlen hat, und zwar haben diese, trotzdem sie hygroskopisch sind, wegen ihrer grossen Elasticität, Undurchsichtigkeit und Feinheit unter den angeführten Substanzen die allgemeinste Anwendung erhalten; blos in England werden auch die Wollaston'schen Platindrähte

---

1) Dechales, Dioptrica, l. 2, prop. 59. Dove, Ueber Mass und Messen (2. Aufl.), S. 88.

2) Malvasia, Ephemerides novissimae motuum coelestium etc. (Modena 1662). Dove, a. a. O.

3) Auzout, Ouvrages des mathématiques de M. Picard (Haag 1731). Dove, a. a. O.

4) Picard, Mémoires de Paris, 1717, S. 72.

5) Wollaston, A method of drawing extremely fine wires: Phil. Trans., 1813, S. 114.

6) Ulrich, On the formation and application of fine metallic wires to optical instruments: Monthly Notices of the Roy. Astron. Society, 1846, Vol. VII, p. 294.

7) Brewster, Treatise on new philosophical instruments (Edinburgh 1813), S. 77.

8) Dove, a. a. O., S. 90.

9) Goring, Quarterly Journal of science, litterature and arts, New series, I, 81. Astronomische Nachrichten, Bd. VI, Nr. 129.

10) Fontana, Saggie del real gabinetto di fisica e di storia naturale de Firenze (Rom 1775). Dove, a. a. O. Bode, Astronomisches Jahrbuch für 1778, S. 99.

häufig gebraucht. Die besten Spinnenfäden sind diejenigen, an welchen das Netz hängt; doch kann man auch die Nester, in welche die Spinnen ihre Eier legen, verwenden; es ist wenigstens vortheilhaft, solche Nester, nachdem man die Eier durch Klopfen daraus entfernt hat, stets aufzubewahren, da Spinnen nicht immer und überall zur Hand sind.

97. Die Fäden werden auf einen ringförmigen oder viereckigen Rahmen von Messing *a b c d* (Fig. 64) aufgespannt; auf diesem Rahmen, welcher auch die Fadenplatte genannt wird, sind an denjenigen Stellen, an welche die Fäden zu liegen kommen, Einschnitte in das Metall gemacht, bei welchen jedoch der sogenannte Grat sorgfältig entfernt und überhaupt jede scharfe Kante vermieden werden muss, damit die Fäden nicht verletzt werden.

Das Aufspannen der Spinnenfäden auf diesen Rahmen [1]) ist eine Operation, welche jeder, der mit Messinstrumenten umzugehen hat, sich zu eigen machen muss und welche auch nach einiger Uebung auf folgende Weise leicht mit Sicherheit bewerkstelligt werden kann.

Bevor man die Fäden aufspannt, muss man sie präpariren, was dadurch geschieht, dass man sie eine Zeit lang in lauwarmes Wasser bringt. Nachdem dies geschehen ist, legt man sie in die Einschnitte am Rahmen und befestigt an ihren Enden kleine Gewichte, welche sie fest anziehen sollen, aber natürlich nicht zerreissen dürfen; man kann hierzu Wachskugeln oder auch ganz kleine Bleigewichte benutzen. Hat man nun die Fäden in ihre richtige Lage gebracht, so werden sie hinreichend gespannt, was man daran erkennt, dass sie, wenn man sie anhaucht, sich nicht biegen oder krümmen. Sodann werden sie mittels Wachs oder Firniss befestigt. Da das Wachs im Winter gern springt, so verdient der Firniss den Vorzug, doch darf man hierbei die Gewichte an den Enden der Fäden nicht eher entfernen, bis der Firniss ganz trocken geworden ist; auch das sogenannte Klebwachs eignet sich gut zum Befestigen der Fäden.

98. Die Fadenplatte oder eigentlich die Ebene, in welcher die Fäden liegen, muss in die Focalebene des Fernrohrs gebracht werden, d. h. sie muss erstens senkrecht auf der optischen Axe desselben stehen und zweitens im gemeinschaftlichen Brennpunkte des Oculars und des Objectivs liegen.

Der erstere Punkt muss von Anfang an bei der Einrichtung des Fernrohrs sorgfältig beachtet werden, hinsichtlich des zweiten Punktes kann eine Berichtigung jederzeit vorgenommen werden und zwar auf folgende Weise:

Man bringt nämlich zuerst die Fäden in den Brennpunkt des Oculars, was man daran erkennt, dass man hier die Fäden am deutlichsten sieht; man verschiebt also das Ocularröhrchen so lange, bis dies ganz genau der Fall ist. Sodann richtet man das Fernrohr auf einen entfernten Gegenstand,

---

1) Sawitsch, Praktische Astronomie, Bd. I, S. 61. Ressel's Methode findet sich in Gehler's Wörterbuch, neue Bearbeitung, Bd. IV, Abthl. 1, S. 188.

wozu auch ein Stern benutzt werden kann, und verschiebt zugleich das Ocularröhrchen und die Fadenplatte, welche sich deshalb in der Regel zusammen in einem eigenen, in dem Hauptrohre verschiebbaren Rohre befinden, so lange, bis man das Object ganz scharf sieht. Diese richtige Stellung erkennt man daran, dass man denjenigen Theil des Bildes vom Objecte, welchen ein Faden bedeckt, nie wahrnimmt, man mag das Auge nach rechts oder links auf die Seite bewegen.

99. Es wurden oben (§ 95) zwei sich kreuzende Fäden als einfachste Einrichtung des Fadennetzes angeführt; dieser Fall kommt jedoch nur bei den kleinen Fernrohren der transportablen Instrumente vor. Bei allen grössern Fernrohren sind wenigstens zwei parallele Fäden, welche bei den Höhen- und Meridianinstrumenten eine horizontale Lage haben, bei den Aequatorealen in der Richtung der Parallelkreise liegen, und senkrecht darauf wieder mehrere Fäden eingezogen. Was die Anzahl dieser letztern Fäden betrifft, so ist dieselbe sehr verschieden genommen worden. So wurden 3, 5, 7 und 9 solche Fäden gebraucht; Lamont [1]) hat sogar seit Einführung der galvanischen Zeitregistrirungsapparate in dem Fernrohre des münchner Meridiankreises 25 verticale Fäden angebracht, welchen er in fünf Partien die in Fig. 65 angezeigte Austheilung gab.

Um hierbei jeden Faden bei der Beobachtung in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen zu können, ist das Ocular *o* (Fig. 66) auf einem Schieber *S S* befestigt, welcher ganz nach Art des Schiebers am mikrometrischen Mikroskope [2]) vor- und rückwärts bewegt werden kann.

100. Bei den Meridianinstrumenten müssen, wie bereits erwähnt, die beiden parallelen Fäden genau horizontal, die übrigen genau vertical sein; bei den Aequatorealen müssen die erstern in der Richtung der Parallelkreise, die letztern in der Richtung der Declinationskreise, also wieder senkrecht gegen die erstern stehen.

Auf den Umstand, dass die Fäden genau senkrecht auf einander stehen, wird schon beim Aufspannen derselben Rücksicht genommen; um dagegen die richtige Stellung in Bezug auf den Horizont oder den Aequator genau zu Stande bringen zu können, muss die Construction der Fadenplatte eine kleine Drehung derselben erlauben und dabei muss dieselbe doch in jeder Lage festgestellt werden können. Am zweckmässigsten ist es demnach, wenn sie ein eigenes, freibewegliches Stück bildet, welches in einen geeigneten Rahmen eingesetzt und festgestellt werden kann. Ist dabei die Platte *f f* (Fig. 69) viereckig, so kann die genannte Correction mittels 6 Schräubchen *s, s, s* ... bewerkstelligt werden. Ist die Fadenplatte *F F* (Fig. 68) dagegen rund, so gibt man ihr zwei diametral gegenüberliegende Ansätze

---

1) Jahresbericht für 1852, S. 32.
2) Vgl. Abschnitt II, § 57 u. 58.

a, a, welche über den Rahmen, in welchem die Platte liegt, herausragen und oben die Form haben, wie sie m und m' (Fig. 66 u. 67) zeigen. Diese Stückchen m und m' haben einen Schlitz, welcher in Fig. 67 sichtbar ist und durch welchen die Schrauben v und v' hindurchgehen, die an den Rahmen, in welchem die Platte liegt, fest angeschraubt sind. An diese Schrauben nun legen sich die durch m und m' an der Seite hindurchgehenden vier Correctionsschräubchen s, s und s', s' an, mittels welcher also, da die Schrauben v und v' fest, die Stückchen m und m' dagegen und mit ihnen die ganze Fadenplatte beweglich ist, eine hinreichende Drehung der letztern bewerkstelligt werden kann. Durch die Schrauben v und v' kann dabei ausserdem noch die ganze Fadenplatte etwas gehoben oder gesenkt werden.

Bei den v. Reichenbach'schen Meridiankreisen kann auch noch eine Drehung des ganzen Oculareinsatzes R (Fig. 67) bewerkstelligt werden. Dieser ist nämlich in das Hauptrohr des Fernrohrs eingeschoben und trägt dabei zur Führung in demselben eine Spange A, welche in einem eingefeilten Falze des Hauptrohrs läuft, dabei aber doch eine geringe Drehung des Ocularrohrs in dem Hauptrohre zulässt. Der Oculareinsatz und mit ihm die Fadenplatte kann nun mittels der Schräubchen n und n' (Fig. 67) in einer Lage festgestellt werden, welche innerhalb der Grenzen der genannten Drehung der Spange A in ihrem Falze liegt. Es kann also auch durch diese Einrichtung die angeführte Correction der richtigen Stellung der Fäden vorgenommen werden; man bringt damit übrigens in der Regel blos näherungsweise eine Einstellung derselben zu Stande und corrigirt dann diese genäherte Stellung wieder mittels der erstern Vorrichtung. Bei den transportablen Instrumenten ist meistentheils nur eine Einrichtung der letztern Art angebracht.

101. Man prüft die horizontale Stellung der Fäden bei Meridianinstrumenten dadurch, dass man einen Stern in der Nähe des Aequators beobachtet. Da dessen Weg in der Nähe des Meridians als horizontal angenommen werden kann, so muss er bei seinem ganzen Durchgange durch das Gesichtsfeld des Fernrohrs zwischen den beiden Fäden bleiben, falls dieselben ihre richtige Stellung besitzen.

Hinsichtlich der horizontalen Fäden ist noch ein Punkt zu erwähnen, welcher mehrmals der Gegenstand der Untersuchungen der Astronomen geworden ist. Da nämlich diese Fäden blos an ihren beiden Endpunkten unterstützt sind, so müssen sie sich vermöge ihrer Schwere biegen; es handelt sich nun darum, zu erfahren, ob diese Biegung bemerkbar ist oder auf die Beobachtungen einen Einfluss ausübt. Schon Bessel [1]) hat aus seinen Beobachtungen das Resultat abgeleitet, dass keine solche Biegung bemerkbar sei. Später hat Peters [2]) die Fäden am pulkowaer Verticalkreise einer

1) Bessel, Königsberger Beobachtungen, Abthl. VI, S. 20.

2) Peters, Ueber die Durchbiegung eines horizontalen Spinnenfadens: Astronomische Nachrichten, Bd. XLV, Nr. 1068.

Prüfung bezüglich des genannten Punktes unterworfen und aus 35 Bestimmungen die Grösse der Biegung $= + 0''{,}020$ abgeleitet, woraus also wieder hervorgeht, dass dieselbe für Beobachtungen unschädlich ist.

IV. Beleuchtung des Gesichtsfeldes oder der Fäden im Fernrohre. — Lichte Linien.

102. Um die Fäden auch bei Nacht deutlich sehen zu können, ist es nöthig, entweder das Gesichtsfeld oder die Fäden zu beleuchten, d. h. entweder dunkle Fäden auf hellem Grunde oder helle Fäden auf dunklem Grunde herzustellen. Eine solche Beleuchtung nun kann auf verschiedene Weise zu Stande gebracht werden, nämlich:

1) durch das Objectiv,
2) am Oculare und
3) bei Instrumenten mit horizontalen Axen durch die hohle Axe.

103. Um eine Beleuchtung durch das Objectiv herzustellen, bringt man [1]) einen kleinen Planspiegel unter einer solchen Neigung vor dasselbe, dass das von einer Lampe kommende Licht in das Fernrohr reflectirt wird und zum Oculare gelangen kann; die Fäden erscheinen dann als dunkle Linien auf dem hellen Gesichtsfelde. Man kann hierbei auf die Objectivfassung selbst einen messingenen Ring R (Fig. 63) stecken, mit welchem durch eine dünne Spange a der Spiegel s verbunden ist. Am besten wird der Ring geschlitzt, d. h. mit Einschnitten versehen, damit er sich federnd an die Fassung anlegt. Diese Art der Beleuchtung wird besonders bei den transportablen Instrumenten angewendet.

104. Will man die Beleuchtung am Oculare herstellen, so kann man dies dadurch bewerkstelligen, dass man durch Oeffnungen in der Ocularröhre von einer aussen befindlichen Lampe das Licht entweder auf die Fäden fallen oder zu den Ocularlinsen gelangen lässt, d. h. entweder die Fäden oder das Gesichtsfeld beleuchtet.

Bei dem Durchgangsinstrumente in Washington [2]) ist diese Beleuchtungsweise auf die in Fig. 70 dargestellte Art angebracht worden. Auf beiden Seiten vom Ocularansatze des Fernrohrs F sind die Lampen a, a mit den Trägern b, b so verbunden, dass das von ihnen kommende Licht durch die Oeffnungen bei p, p blos auf die Fäden und also mit Ausnahme einer ganz geringen Lichtmenge, welche von den Fäden reflectirt wird, nicht auf die Ocularlinsen auffallen kann; man hat also helle Fäden auf dunklem Grunde. Damit hierbei die Lampen in jeder Lage des

---

1) Sawitsch, Praktische Astronomie, Bd. I, S. 80.

2) Maury, Astronomical observations made at the Naval Observatory Washington, Vol. I, Einleit., S. III, und Anhang, S. 20.

Fernrohrs senkrecht stehen, sind dieselben an den Trägern b, b um Gelenke beweglich, mit welchen die Gewichte w, w verbunden sind. Wenn sehr lichtschwache Objecte in die Nähe der hellglänzenden Fäden kommen, so verschwinden sie und die Beobachtung wird unsicher. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, die Intensität der Beleuchtung moderiren zu können; Maury hat deshalb bei der beschriebenen Einrichtung zwischen die Lampen a, a und die Oeffnungen bei p, p Schirme von farbigen Gläsern gebracht, durch welche das von den Lampen kommende Licht geschwächt wird.

105. Nach Fraunhofer [1]) kann eine Beleuchtung der Fäden auf folgende Weise zu Stande gebracht werden. An der Lampe L (Fig. 71) befindet sich ein Röhrchen r', welches in das mit dem Ocularansatze verbundene Rohr r gesteckt werden kann. Das Oelgefäss a kann bei jeder Lage des Fernrohrs horizontal gestellt werden, da es einmal um die Axe b beweglich ist und die ganze Lampe im Rohre r gedreht werden kann; zugleich ist dabei die Flamme stets in der Axe der Lampe. Das Licht der Flamme fällt zunächst auf eine Collectivlinse, durch welche es auf die Fäden geworfen wird; die Intensität der Beleuchtung kann dann dadurch moderirt werden, dass man zwischen die Collectivlinse und die Fäden noch ein engeres Röhrchen bringt, in welchem Diaphragmen angebracht sind. Das Rohr r muss so an dem Ocularansatze befestigt sein, dass das von der Lampe kommende Licht senkrecht gegen die Länge der Fäden auffällt; ferner ist zu einer gleichmässigen Beleuchtung der Fäden nöthig, zwei einander gegenüberliegende Lampen an dem Ocularansatze anzubringen.

Es ist leicht ersichtlich, dass durch eine Aenderung der Lage des Rohres r das Licht der Flamme zu den Ocularlinsen gebracht werden kann, wodurch dann das Gesichtsfeld erleuchtet wird und dunkle Fäden auf hellem Grunde erscheinen.

106. Eine Beleuchtung des Gesichtsfeldes durch die Axe wird dadurch hergestellt, dass man in den Cubus $C C$ der hohlen Axe $A B$ (Fig. 72) eine plane oder concave spiegelnde Fläche $s s$ bringt, welche das von einer Lampe L durch die Axe kommende Licht gegen das Ocular reflectirt. Man gebraucht zu einer solchen Spiegelfläche in der Regel ein gewöhnliches Messingblech, welches in seiner Mitte ein Loch hat, das gross genug ist, um den vom Objective kommenden Strahlenkegel durchzulassen.

Auch bei dieser Einrichtung muss die Beleuchtung moderirt werden können; es ist dies auf verschiedene Weise geschehen und zwar:

1) dadurch, dass man eine mehr oder weniger grosse Quantität Lichtstrahlen von der Lampe in die Axe gelangen lässt, d. h. also durch eine beliebige Verkleinerung des Lochs am Zapfen.

Es sind hier besonders zwei Vorrichtungen zu erwähnen. Die ältere,

---

1) Fraunhofer, Beschreibung eines neuen Mikrometers: Astronomische Nachrichten, Bd. II, Nr. 43.

schon von v. Reichenbach eingeführte [1]) besteht in einer Art von Zange (Fig. 73), bei welcher, wenn man die beiden Arme z', z' zusammenzieht, auch die Enden z, z, die vor dem Loche am Zapfen (bei D, Fig. 72) sich befinden, zusammengehen und so die Grösse dieses Lochs vermindern. Zwischen den beiden Armen z', z' befindet sich eine Feder f, welche diese Arme immer aus einander hält, sodass also das Loch am Zapfen stets frei ist, ausser wenn der Beobachter es schliesst.

Das Schliessen der Zange geschieht vom Sitze des Beobachters aus durch einen Handgriff, mittels dessen eine bei c fest angebrachte Rolle gedreht wird, um die zwei an den Enden der Arme z', z' befestigte Schnüre in entgegengesetzter Richtung aufgewunden sind, sodass durch das Drehen der Rolle die Zange zusammengezogen wird. Die Rolle bei c muss sich in der Mitte zwischen den Armen z', z' befinden, damit das Loch im Zapfen von beiden Seiten her verkleinert wird, weil im entgegengesetzten Falle eine einseitige, ungleichmässige Beleuchtung des Gesichtsfeldes zu Stande käme.

Eine andere Vorrichtung, welche besonders Repsold bei seinen Meridianinstrumenten eingeführt hat [2]), besteht in einem vor dem Loche am Zapfen befindlichen viereckigen Schirme $a\ b\ c\ d$ (Fig. 73 a), welcher einen keilförmigen Ausschnitt $m\ n$ hat. Durch Vorüberziehen dieses Ausschnitts vor dem Loche am Zapfen kann dann die Grösse desselben beliebig geändert werden.

Man hat die Beleuchtung unter Anwendung eines andern Princips

2) dadurch moderirt, dass man zwischen die Lampe und das Loch am Zapfen verschiedene Medien brachte, bei deren Durchgange die Lichtintensität mehr oder weniger vermindert wird. Auch in dieser Hinsicht sind wieder verschiedene Einrichtungen in Anwendung gebracht worden, nämlich:

a) zwei rechtwinklige Prismen von gefärbtem Glase, mittels welcher die Lichtintensität um so mehr geschwächt wird, je weiter man die Prismen, welche mit ihren Hypotenusenflächen an einander liegen, über einander schiebt [3]);

b) Schirme von verschiedenfarbigen Gläsern. Bei diesen tritt der Uebelstand ein, dass kein allmäliger Uebergang in der Lichtschwächung hergestellt werden kann; dagegen wird dem Umstande Rechnung getragen, dass die einzelnen Sterne auf einem Felde von verschiedener Färbung mehr oder weniger deutlich erscheinen.

Eine Beobachtung, welche mit diesem Umstande im Zusammenhange steht, kann man häufig machen, wenn man die unter 1 angegebenen Vor-

---

1) Bessel, Königsberger Beobachtungen, Abthl. VI, S. 4.

2) Struve, Description de l'observatoire de Poulkowa, S. 117, 155. Königsberger Beobachtungen, Abthl. XXVII, Thl. I, S. 13.

3) Littrow, Der Zonenapparat der wiener Sternwarte, S. 6, Note. Stampfer, Annalen der wiener Sternwarte, Bd. XXI, S. 45.

richtungen zur Moderirung der Beleuchtung anwendet. Es kommt nämlich nicht selten vor, dass ein Stern, wenn man durch die vorher geschlossene Oeffnung am Zapfen auch nur ganz wenig Licht eintreten lässt, augenblicklich verschwindet, während ein anderer, weit kleinerer Stern noch ganz gut sichtbar bleibt.

107. Bei den gebrochenen Fernrohren, bei welchen sich das Reflexionsprisma im Cubus der horizontalen Axe befindet (§ 93), kann man eine Beleuchtung des Gesichtsfeldes durch die Axe in der Weise herstellen [1]), dass man auf das Reflexionsprisma ein zweites, ebenfalls gleichschenkliges und rechtwinkliges, aber bedeutend kleineres Glasprisma mittels canadischen Balsams aufkittet, sodass die beiden Hypotenusenflächen auf einander zu liegen kommen. Stellt man nun vor den Zapfen der Axe, an welchem sich das Ocular nicht befindet, eine Lampe, so kann das Licht derselben ungehindert durch die parallelen Flächen der beiden Prismen zum Oculare gelangen und also das Gesichtsfeld erleuchten. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass ein freilich nur geringer Theil des Lichts der Sterne, welches vom Objective herkommt, durch die beiden andern parallelen Flächen der Prismen hindurch und also verloren geht.

108. Anstatt der Beleuchtung der Fäden ist ein anderes Mittel gebraucht worden, wobei die Fäden gänzlich entfernt sind.

Man hat nämlich durch eigenthümliche Vorrichtungen, welche in Abschnitt VII (§ 208 ff.) näher beschrieben werden sollen, das Bild einer ausserhalb des Fernrohrs befindlichen Scala im Focus des Objectivs entstehen lassen, und zwar in der Art, dass man helle Linien oder Punkte auf dunklem Grunde erhielt. Solche Einrichtungen werden gegenwärtig an den Meridianinstrumenten zu Wien und Kremsmünster gebraucht.

109. Auch die Elektricität wurde als Beleuchtungsmittel gebraucht. Arago [2]) suchte, um die gewöhnliche Beleuchtungsweise der Fäden zu umgehen, diese — es müssen dann die Wollaston'schen Platinfäden gebraucht werden — mittels eines durch sie hindurchgehenden galvanischen Stroms selbstleuchtend (glühend) zu machen, wobei die Intensität der Beleuchtung durch die Aenderung der Stromstärke regulirt werden sollte. Secchi [3]) beleuchtete die Spinnenfäden im Focus des Fernrohrs durch den Funken eines Rhumkorff'schen Inductionsapparates. In eine weitere Glasröhre $m\,m'$ (Fig. 79), welche am einen Ende zugeschmolzen war, wurde ein engeres Röhrchen $n\,n'$ gebracht. Durch dieses Röhrchen ging der feine Draht $A\,a$, und im Zwischenraume zwischen beiden Röhren befand sich ein zweiter Draht $B\,b$ in der

---

1) Sawitsch, Praktische Astronomie, Bd. I, S. 81.

2) Arago, Note sur de nouveaux moyens d'éclairage des fils des réticules et des micromètres: Comptes rendus, Bd. XXIV, S. 321. Poggendorff's Annalen, Bd. LXXI, S. 96.

3) Secchi, Astronomische Nachrichten, Bd. XLVI, S. 131; Bd. XLVII, S. 259.

Art, dass zwischen den beiden Endpunkten der Drähte nur ein ganz geringer Zwischenraum von $^2/_3$ Millimeter sich befand. Die Drähte $A\,a$ und $B\,b$ waren in die Röhre mittels Mastix isolirt eingekittet und mit den Zuleitungsdrähten des Rhumkorff'schen Apparates verbunden. Sowie dieser in Thätigkeit versetzt wurde, zeigte sich bei $a\,b$ ein glänzender Funke. Die Röhre $m\,m'$ wurde nun in eine Oeffnung am Ocularende so gebracht, dass mittels des Funkens bei $a\,b$ die Fäden hell erleuchtet wurden.

110. Diese Anwendungen der Elektricität als Beleuchtungsmittel sind übrigens blos als Versuche zu bezeichnen; ein allgemeiner Gebrauch von ihnen ist nicht gemacht worden.

Am hinderlichsten ist die Nothwendigkeit der Beleuchtung, wie sich von selbst ergibt, für die Beobachtung lichtschwacher Objecte, z. B. der teleskopischen Kometen oder der kleinen Planeten. Es ist deshalb nothwendig, für diese Beobachtungen Vorrichtungen einzuführen, durch welche die Beleuchtung umgangen werden kann.

Klinkerfues [1]) wendet zu dem genannten Zwecke eine eigenthümliche, von Repsold verfertigte Vorrichtung an. Diese besteht aus einem ringförmigen Rahmen (Fig. 77), welcher mehrere sich unter einem rechten Winkel kreuzende, gleichweit von einander abstehende schmale Metallstreifen trägt. Bringt man diesen Rahmen in den Focus des Fernrohrs, so kann man die lichtschwachen Objecte an den Kreuzungspunkten der Spangen, woselbst sie bei ihrem Durchgange durch das Gesichtsfeld verschwinden und wieder sichtbar werden, genau beobachten.

V. Biegung des Fernrohrs.

111. Da die Metalle, aus welchen die einzelnen Theile des Fernrohrs verfertigt werden, elastisch sind, so übt die Schwere einen Einfluss auf dieselben aus, welcher sich als eine Biegung des Rohres kund gibt. Steht das Rohr vertical, so wirkt die Schwere auf alle seine Punkte gleichmässig und es wird keine Biegung statthaben; in jeder andern Lage dagegen wird eine solche vorhanden sein und zwar wird sie bei horizontaler Stellung des Fernrohrs ihren grössten Werth erreichen.

Es ist klar, dass diese Biegung bei den Instrumenten, mit welchen absolute Sternörter bestimmt werden sollen, genau berücksichtigt werden muss, und v. Reichenbach hat sogar versucht, dieselbe bei seinen Meridiankreisen durch eigenthümliche Vorrichtungen, welche wir in Abschnitt V (§ 156) kennen lernen werden, vollständig zu entfernen. Allein die Astronomen haben gegen diese Einrichtungen mancherlei Bedenken erhoben und

1) Klinkerfues, Astronomische Nachrichten, Bd. XLIII, Nr. 1015.

es in neuerer Zeit allgemein vorgezogen, die Grösse der Biegung genau durch Beobachtungen zu bestimmen. [1])

112. Um die Wirkung der Schwere an sich schon soviel als möglich zu vermindern, hat man die doppelt konischen Rohre (Fig. 58) eingeführt. Die Bestimmung der auch dann noch vorhandenen Biegung ist bisher nach drei verschiedenen Methoden ausgeführt worden, von denen die beiden ersten von Bessel herrühren.

1) Man beobachtet die Sterne einmal direct und dann ihr von einem künstlichen Horizonte reflectirtes Bild.

2) Man entfernt am Meridianfernrohre das Objectiv und das Ocular, richtet das Rohr genau horizontal und stellt in gleicher Höhe mit demselben zwei andere Fernrohre im Norden und Süden so auf, dass die Kreuzungspunkte ihrer Fadenkreuze sich decken; es werden dann ihre optischen Axen eine gerade Linie bilden, welche durch das Rohr des Meridianfernrohrs hindurchgeht. Schraubt man nun die Gläser an dem letztern wieder an und stellt einmal auf den Kreuzungspunkt der Fäden des nördlichen Fernrohrs, dann auf das südliche Fernrohr ein, so ist der Ueberschuss der beiden zugehörigen Ablesungen über 180° gleich der doppelten Biegung des Fernrohrs im Horizonte.

Bei dieser Methode wird also blos die Grösse der Biegung im Horizonte erhalten, und der Werth für dieselbe in einer beliebigen Höhe muss durch Rechnung unter Zugrundelegung eines bestimmten Gesetzes abgeleitet werden. Wenn aber ein solches Gesetz blos durch die Theorie bestimmt wird, so können dabei die unvermeidlichen Unregelmässigkeiten in der Structur der beiden Röhrenhälften nicht wohl in Betracht gezogen werden, sodass also die Angabe für die Biegung mit einem wenn auch kleinen Fehler behaftet sein kann. Von diesem Uebelstande ist die folgende Methode frei.

3) Man beobachtet denselben Stern einmal direct und dann, nachdem man am Fernrohre die Stellung des Objectivs und Oculars verwechselt hat.

Bei dieser Methode ist es erforderlich, dass die statischen Momente des Objectivs und des Oculars sammt ihren Fassungen einander gleich sind, was man daran erkennt, dass das Fernrohr auch nach der Vertauschung der beiden genannten Stücke in jeder Lage im Gleichgewichte bleiben muss. Auf die Erfüllung dieser Bedingungen wurde auch bei allen neuern Instrumenten Rücksicht genommen.

113. Bei der Construction des Rohres ist auch noch auf den Punkt Rücksicht zu nehmen, dass alle Theile der Peripherie eines jeden gegen die

---

1) S. darüber Bessel, Eine neue Methode, die Biegung der Fernrohre astronomischer Instrumente zu bestimmen: Astronomische Nachrichten, Bd. III, Nr. 61. Hansen, Ueber die Biegung des Fernrohrs: Astronomische Nachrichten, Bd. XVII, Nr. 389. Pape, Resultate aus Beobachtungen über die Biegung des altonaer Meridiankreises: Astronomische Nachrichten, Bd. LIII, Nr. 1250—54.

Axe des Rohres senkrechten Querschnitts der Röhrenwand genau gleich dick seien, weil im gegentheiligen Falle ebenfalls eine durch die Schwere verursachte Wirkung zu Stande kommt, welche die Güte der Beobachtungen beeinträchtigen kann. Wenn nämlich das Rohr des Fernrohrs senkrecht steht (gegen das Zenith zeigt) und die genannte Bedingung nicht erfüllt, d. h. die Röhrenwand auf der einen Seite weniger dick als auf der andern ist, so wird durch den Druck des Objectivs nach der Seite hin eine Biegung statthaben. Es ist leicht ersichtlich, dass diese Art der Biegung im Zenith am grössten ist und gegen den Horizont hin, in welchem sie verschwindet, abnimmt. In der That wurde eine solche Seitenbiegung von Pond am greenwicher Durchgangsinstrumente durch Beobachtungen bei umgelegter Axe nachgewiesen.

Vierter Abschnitt.

Hülfsmittel zur genauen Einstellung des Fernrohrs.

---

114. Im vorhergehenden Abschnitte wurden die Einrichtungen angegeben, wodurch es möglich wird, ein Object oder eigentlich das Bild desselben mit einem bestimmten Punkte im Gesichtsfelde des Fernrohrs zu vergleichen; es ist dies das Fadennetz im Focus des Fernrohrs. Um jedoch eine genaue Einstellung rasch und mit Sicherheit zu Stande bringen zu können, müssen wieder eigene Vorrichtungen — die sogenannte feine Bewegung — deren Erörterung den Gegenstand dieses Abschnitts bilden soll, in Anwendung gebracht werden. Ehe man aber diese feine Bewegung gebrauchen kann, muss man das zu beobachtende Object in das Gesichtsfeld des Fernrohrs überhaupt bringen und dann das letztere feststellen, was mittels der sogenannten Klemmen geschieht.

I. Von den Klemmen.

115. Unter einer Klemme versteht man im Allgemeinen eine Vorrichtung, bei welcher ein beweglicher Theil eines Instruments mit einem festen Theile desselben so verbunden wird, dass eine weitere directe Bewegung des erstern nicht hervorgebracht werden kann. Man bewerkstelligt diese innige Verbindung — das Klemmen — durch Andrücken des beweglichen Theils an den festen mittels einer am erstern befindlichen Schraube.

Dabei ist nun zunächst zu berücksichtigen, dass man das Schraubenende nie mit dem Theile, an welchem geklemmt werden soll, in directe Berührung bringen darf, weil durch das starke Andrücken die Schraube,

selbst wenn sie am Ende kugelförmig abgerundet ist, bald in das Metall eindringen würde. Man bringt deshalb zwischen die Schraube und den zu klemmenden Theil ein Metallstück, welches sich an dem letztern mit einer grössern Fläche genau anlegt und so seine Abnutzung verhindert.

Bei den astronomischen Instrumenten kommen nun folgende Arten von Klemmen vor:

1. Klemmen am Kreise.

116. Will man an der Peripherie der Kreise klemmen, so werden zwei Stücke Metall M und M' (Fig. 74) dadurch, dass man sie mittels einer Schraube S fest zusammenzieht, mit den Flächen $c\,c$ gegen den dazwischen befindlichen Limbus des Kreises angedrückt und so eine directe Weiterbewegung verhindert. An dem Stücke M befindet sich dabei eine Erhöhung a, welche in eine entsprechende Vertiefung am Kreise eingreift und den Zweck hat, der Klemme, wenn sie geöffnet, d. h. wenn die Schraube S nicht fest angezogen ist, eine ordentliche Führung bei der Weiterbewegung zu geben.

117. Wenn man eine solche Klemme am Kreise anbringt, so tritt der grosse Uebelstand ein [1]), dass durch das Andrücken der Metallflächen die Peripherie verzogen wird und also falsche Ablesungen erhalten werden. Man hat diesem Missstande auf mehrfache Weise abzuhelfen gesucht:

a) Es wurde an dem Instrumente ein zweiter, kleinerer, mit dem Hauptkreise concentrischer Hülfskreis angebracht und an diesem dann die Klemmung bewerkstelligt.

b) Bei den neuern, mit zwei verticalen Kreisen versehenen Instrumenten hat man blos mit demjenigen Kreise [2]), welcher die grobe Theilung besitzt und zum Einstellen dient, die beschriebene Klemmungsweise verbunden. [3])

2. Klemmen an der Axe.

118. Immerhin ist es nach dem Gesagten rathsam, die Klemmung an der Kreisperipherie blos im Nothfalle anzuwenden, dieselbe dagegen so nahe als möglich am Drehungsmittelpunkte, nämlich an der Axe vorzunehmen.

Die einfachste Klemmung an der Axe stellt Fig. 75 dar. Durch den Ring $R\,R$ geht die Axe genau hindurch und bewegt sich in demselben; bei c ist ein Stück Metall herausgenommen und dafür ein anderes eingesetzt, welches zugleich mit dem Ringe ausgedreht wurde, sodass es genau einen

---

1) Lamont, Jahresbericht für 1852, S. 25, Note.

2) Vgl. Abschnitt II, § 42.

3) Struve, Description etc., S. 117, Taf. XXIII.

Theil der innern Peripherie desselben bildet. Dieses Stück c nun wird, wenn geklemmt werden soll, durch Anziehen der Schraube S mit seiner innern Fläche so stark an die Axe angedrückt, dass eine weitere Bewegung derselben nicht mehr stattfinden kann.

In Fig. 76 ist eine andere Ausführung dieser Klemmungsweise dargestellt, welche in denjenigen Fällen gebraucht wird, wo ein längerer Arm $T\,T$ für Klemmen erforderlich ist. Durch den Ring $R\,R$ geht wieder die Axe hindurch; bei c ist dieser Ring cylindrisch ausgebohrt und dafür ein anderer Cylinder eingesetzt, welcher zugleich mit dem Ringe $R\,R$ genau ausgedreht wurde. Beim Klemmen wird dann durch die lange Schraube $s\,s\,s$ dieser Cylinder c mit seiner obern, sich genau an die Axe anlegenden Fläche fest an dieselbe angedrückt und so eine weitere Bewegung verhindert.

Sehr zweckmässig ist die Einrichtung des Klemmungsarmes, welchen Repsold an dem von ihm für die pulkowaer Sternwarte ausgeführten Meridiankreise angebracht hat. [1]) Bei demselben befinden sich nämlich in dem Ringe $R\,R$ (Fig. 80) drei andere dünne, federnde Ringe, deren äusserster sich genau an den Ring $R\,R$ anlegt. Der mittlere dieser Ringe ist sowohl mit dem äussern als auch mit dem innern an vier um 90° von einander abstehenden Punkten verbunden, doch so, dass die vier Punkte, an denen er mit dem innern Ringe verbunden ist, um 45° von den vier Punkten abliegen, welche seine Verbindung mit dem äussern Ringe herstellen. Wird nun durch Anziehen der Schraube $s\,s\,s$ ein Druck gegen den äussersten Ring ausgeübt, so vertheilt sich dieser Druck auf vier Stellen der durch den innersten Ring gehenden Axe.

3. Klemmung mittels einer Schraube ohne Ende.

119. Eine weitere Art von Klemmung ist die mittels einer Schraube ohne Ende. Hierbei ist in den Rand des Kreises $K\,K'$ (Fig. 81) eine Schraubenmutter eingegraben; neben diesem Rande befindet sich die Schraube ohne Ende $s\,s$, deren Gewinde genau in das Gewinde am Kreisrande passt. Mittels einer kleinen Excentrik e kann die Schraube gesenkt und gehoben, d. h. in das Gewinde des Kreisrandes eingelegt und wieder daraus entfernt werden; im erstern Falle ist die Bewegung gehindert, im zweiten ist sie frei.

II. Von der feinen Bewegung.

120. Ist nun auf irgend eine der angeführten Arten geklemmt, so wird mittels der feinen Bewegung erst genau eingestellt. Die feine Bewegung

---

1) Struve, a. a. O., Taf. XXX.

besteht im Allgemeinen darin, dass mittels einer Schraube, welche mit der Axenbewegung auf irgend eine Art in Verbindung steht, die Bewegung so lange fortgesetzt wird, bis das betrachtete Object an einem bestimmten Punkte im Gesichtsfelde des Fernrohrs sich befindet.

Hinsichtlich der zur feinen Bewegung verwendeten Schrauben ist zu bemerken, dass die Länge ihrer Gänge je nach Bedürfniss verschieden genommen werden muss; dabei ist es aber immer zweckmässig, dieselben nicht zu fein zu nehmen, da man viel leichter auf einen bestimmten Punkt einstellt, wenn man mit einer halben Umdrehung zuerst über den Punkt hinauskommt und erst, nachdem man wieder zurückgegangen ist, ganz genau einstellt, als wenn man mehrere Umgänge vorwärts und wieder zurückgehen muss.

Die verschiedenen Arten, wie die feine Bewegung an den astronomischen Instrumenten angebracht wurde, sind nun folgende:

1. Bewegung nach der Sehne.

121. Bei der feinen Bewegung mittels einer Chordenschraube (Fig. 82) sind die beiden Punkte c und c' der Schraube $S\,S\,S$ gleichweit vom Mittelpunkte der Axenbewegung entfernt. Die Schraube ist bei c' mit dem zu bewegenden Theile des Instruments — der Alhidade — verbunden, sie geht ferner durch die Mutter c hindurch. Diese letztere ist in der Regel mit der Klemme K verbunden und wird also beim Klemmen festgestellt. Wenn man dagegen die feine Bewegung gesondert von der Klemme anbringen wollte, so müsste die Mutter c mit einem an sich feststehenden Theile des Instruments verbunden werden. Wird also die Schraube vorwärts gedreht, so wird auch der zu bewegende Theil, nämlich die Alhidade und das mit ihr fest verbundene Fernrohr, mitgehen und es kann so eine genaue Einstellung leicht zu Stande gebracht werden.

122. Die Schraubenmutter c bildet eine Kugel, welche sich zwischen zwei Vertiefungen der Stücke m, m befindet; damit sich aber diese Kugel, wenn die Schraube bewegt wird, nicht im Sinne der Schraubendrehung mitdrehen kann, ist oben eine Spitze γ (Fig. 82 a) angebracht. Der Hals der Schraube bildet bei c' ebenfalls eine Kugel, welche in Vertiefungen der Stücke m', m' läuft. Durch diese doppelte Kugelbewegung wird nämlich der Vortheil erzielt, dass die beiden Punkte der Schrauben, welche geführt werden, stets dieselbe Entfernung vom Mittelpunkte der Bewegung beibehalten.

Zwischen den Vertiefungen in m, m und m', m', in welchen sich die Kugeln befinden, und den Kugeln selbst ist immer ein kleiner Zwischenraum vorhanden, wodurch ein todter Gang der Schraube hervorgebracht wird, der übrigens ganz ohne nachtheilige Wirkung bleibt, da ohnedies die genaue Einstellung stets durch Vorwärtsdrehen der Schraube bewerkstelligt wird.

123. Die kugelförmige Schraubenmutter *c* ist, wie bereits erwähnt, in der Regel mit der Klemme *K* verbunden und zwar einer Klemme von der in § 116 beschriebenen Art (Fig. 74). Die feine Bewegung nach der Sehne wurde nämlich bisher blos in denjenigen Fällen angewendet, wo am Kreise geklemmt wurde.

Die Art und Weise, wie dabei die Kugel *c* mit der Klemme in Verbindung steht, zeigt Fig. 83. Das doppelt rechtwinklig umgebogene Stückchen *a* ist bei *v* und *v'* an die Klemme angeschraubt und die Kugel *c*, durch welche die Schraube *s* hindurchgeht, zwischen Vertiefungen in *m* und der Klemme gebracht. Die Kugel ist ferner in der Mitte durchschnitten, und so drückt dann das Stück *m* federnd auf dieselbe, wodurch die Bewegung der Schraube sehr erleichtert wird.

Bei den Klemmen am Fraunhofer'schen Filarmikrometer des münchner Refractors ist das Stückchen *a* blos bei *v'* an die Klemme angeschraubt und so der Federdruck von *m* gegen die Kugel *c* noch erhöht.

2. Bewegung in der Tangente.

124. Bei einer zweiten Art der feinen Bewegung wird das Fortrücken der Alhidade durch eine Schraube bewerkstelligt, deren Länge senkrecht auf dem Radius der Bewegung steht, also eine Tangente bildet; diese Art der feinen Bewegung — der Bewegung mittels einer Tangentenschraube — ist in Fig. 84 dargestellt.

Der Arm *A*, welcher um die Axe beweglich ist, kann durch die Klemmung *K* festgestellt werden. Am Ende dieses Armes geht die Schraube *S* senkrecht gegen die Bewegung hindurch; diese Schraube legt sich an ein mit der Alhidade verbundenes Stück *d* an und man kann also durch Drehen derselben die Alhidade und das Fernrohr weiter bewegen. Damit beim Rückwärtsbewegen der Schraube das Stück *d* und also auch die Alhidade gleichfalls zurückgehe, ist am Arme *A* eine Feder *F* bei *s* angeschraubt, welche gegen *d* drückt.

In früherer Zeit benutzte man die Schraube selbst nicht blos zur vorgehenden, sondern auch zur rückwärtsgehenden Bewegung, wobei sie dann mittels eines Halses in dem zu bewegenden Stücke *d* befestigt war; allein wegen des todten Ganges, der dabei entstand, ist man davon abgekommen. Lässt man aber die Alhidade mittels einer Feder beim Rückwärtsdrehen der Schraube zurückdrücken, so darf diese nur wenige Gänge haben, weil ausserdem die Feder sehr bald lahm würde.

125. In neuerer Zeit hat Ertel statt der einfachen Feder *F* zum Zurückdrücken des Stückes *d* Spiralfedern angewendet. Der Arm *A* endigt dann in einer Gabel, deren Enden in Fig. 85 durch *a* und *a'* bezeichnet sind. An *a* ist eine messingene, am Ende geschlossene cylindrische Röhre *C* befestigt, in welcher sich die Spiralfeder *f* (Fig. 89) befindet, die gegen

eine mit dem Stifte *c* verbundene Platte und dadurch auch gegen den mit der Alhidade in fester Verbindung stehenden Arm *d* drückt.

Bei dieser Einrichtung der feinen Bewegung ist es nothwendig, die Spiralfeder und den Stift *c* während des Aufsetzens der Kreise und der Alhidade auf das Instrument zurückhalten zu können; es sind zu diesem Zwecke zwei Vorrichtungen gebraucht worden:

a) Bei der ersten Vorrichtung hat der Stift *c* die in Fig. 88 dargestellte Form. Er trägt nämlich einmal die cylindrische Platte *a b* und dann noch ein Häkchen *m* und am Ende das angeschraubte Knöpfchen *v*; er geht durch das Ende des Cylinders *C* (Fig. 85) hindurch und kann mittels des Knöpfchens *v* zurückgezogen werden. Die Rückwand des Cylinders hat an der Oeffnung, aus welcher der Stift hervorsteht, einen Einschnitt *o* (Fig. 86), durch den das Häkchen *m* hindurchgehen kann. Die Spiralfeder legt sich im Innern des Cylinders einmal an dessen Rückwand an und drückt an der andern Seite gegen die Platte *a b* (Fig. 88). Wird nun der Stift *c* mit dem Knöpfchen *v* soweit herausgezogen, dass das Häkchen *m* herausgeht, und dann gedreht, so kann er, da dieses Häkchen jetzt sich aussen an die Endfläche des Cylinders anlegt (Fig. 86), nicht mehr zurückgehen und die Feder ist also festgehalten.

b) Bei der andern Vorrichtung hat der Cylinder *C* oben einen Ausschnitt (Fig. 89) und ausserdem an der Seite einen Einschnitt *e*. Der Stift endigt hier mit der cylindrischen Platte (*a b* in Fig. 88); diese trägt aber oben ein kleines Knöpfchen *k* (Fig. 89). Die Spiralfeder drückt wieder an der einen Seite gegen diese Platte, an der andern gegen die Rückwand des Cylinders *C*. Wird nun die Platte und damit der Stift *c* mittels des Knöpfchens *k* bis zum Einschnitte *e* zurückgezogen und dann das Knöpfchen in diesen Einschnitt gebracht, so kann die Feder keine Wirkung mehr auf den Stift ausüben.

126. Fig. 87 zeigt eine andere Ausführung des Princips der Tangentenbewegung, wie sie Ertel bei der horizontalen Axe seiner kleinen Universalinstrumente ausgeführt hat. [1])

Der Arm *A* ist wieder an einem die Axe umgebenden Ringe angebracht, mit welchem zugleich die Klemmung *K* verbunden ist. An diesem Ringe ist die Feder *F* angeschraubt, welche sich gegen die eine Seite des von der Axenbewegung unabhängigen Stückes *M M* anlegt und also den Arm *A* stets nach derselben Seite hindrückt. Durch *M M* gehen die beiden Schrauben *S* und *s* hindurch, mittels welcher, nachdem geklemmt ist, die feine Bewegung hergestellt wird.

Will man nun (in Bezug auf die Figur) eine nach rechts gehende Bewegung des Armes *A* und der mit ihm verbundenen Axe erhalten, so muss die Schraube *s* rückwärts, die Schraube *S* vorwärts gedreht werden; will

---

2) Sawitsch, Praktische Astronomie, Bd. I, S. 162.

man dagegen eine nach links gehende Bewegung des Armes *A* zu Stande bringen, so muss umgekehrt die Schraube *S* rückwärts, die Schraube *s* vorwärts gedreht werden. Die Feder *F* hat dann nicht wie im vorigen Falle den Zweck des Zurückdrückens, sondern es soll durch ihren einseitigen Druck die Ungleichmässigkeit und Unsicherheit in der Bewegung beseitigt werden, welche durch das ungleiche Drehen der beiden Schrauben *S* und *s* ohne sie zu Stande kommen würde.

3. Bewegung mittels einer Schraube ohne Ende.

127. Wendet man die in § 119 beschriebene Art der Klemmung an, bei welcher die directe Bewegung durch Einlegen einer Schraube ohne Ende in eine ihr zugehörige Mutter gehemmt wird, so lässt sich damit die feine Bewegung ganz einfach verbinden; man hat nur nöthig, die Schraube ohne Ende *s s* (Fig. 81) drehbar einzurichten. Man bringt zu diesem Zwecke an ihrem einen Ende einen Kopf oder auch, um sie vom Ocularende des Fernrohrs aus dirigiren zu können, einen längern Stil an.

4. Bewegung mittels eines Keils.

128. Es ist nun schliesslich noch eine Art der feinen Bewegung anzuführen, welche jedoch nur ganz selten angewendet worden ist. Man brachte nämlich zwischen einen festen Punkt und den zu bewegenden Theil des Instruments einen Keil und erzeugte durch Verschieben desselben mittels einer Schraube die feine Bewegung. Die Schraube und der Keil müssen so eingerichtet werden, dass sie mit einander zurückgehen, was durch einen Hals am Schraubenende geschehen kann; der zu bewegende Theil des Instruments muss mittels einer Feder stets an den Keil angedrückt werden.

Fünfter Abschnitt.

Von der Balancirung einzelner Theile der astronomischen Instrumente zum Behufe der Aufhebung nachtheiliger Wirkungen der Schwere.

I. Balancirung zur gleichmässigen Vertheilung des Druckes auf die Unterlage des Instruments.

129. Alle astronomischen Instrumente ruhen entweder an drei oder an zwei Punkten auf festen Unterlagen auf.

Im erstern Falle, welcher namentlich bei den transportablen Instrumenten vorkommt, ist es für die Stabilität des ganzen Instruments erforderlich, dass sein Schwerpunkt in derjenigen Verticallinie liege, welche durch den Schwerpunkt des von den drei Unterstützungspunkten — den Füssen [1]) des Instruments — gebildeten Dreiecks und also, wenn die Füsse gleichweit von einander abstehen, durch den Mittelpunkt des durch dieselben gezogenen Kreises geht, und zwar muss der Schwerpunkt in der untern Hälfte dieser verticalen Linie liegen.

Um diesen Bedingungen aber in der Praxis Genüge leisten zu können, muss vor allem das Gewicht der untern Hälfte des Instruments grösser sein als das der obern Hälfte desselben; es muss ferner das Gewicht, mit welchem das Instrument gegen seine Unterlage drückt, symmetrisch gegen die bezeichnete Verticallinie vertheilt werden. In allen Fällen also, wo dies nicht aus der Construction und Anordnung der einzelnen Theile, aus denen

---

1) Vgl. Abschnitt I, § 16.

das Instrument besteht, von selbst folgt, d. h. überall da, wo ein einseitiger Druck vorhanden ist, muss dieser durch einen in Bezug auf die obige Schwerlinie gegenüberliegenden Gegendruck äquilibrirt, der betreffende Theil des Instruments muss balancirt werden.

Diese Balancirung beruht demnach auf den Gleichgewichtsbedingungen eines zweiarmigen Hebels, an dessen einem Arme das einseitig drückende Gewicht, an dem andern Arme das Gegengewicht angebracht ist; das Hypomochlion dieses Hebels muss immer in der oben bezeichneten Schwerlinie liegen, und die statischen Momente auf beiden Seiten müssen einander gleich sein.

130. Aus dem Gesagten geht unmittelbar hervor, dass der Dreifuss des Instruments, durch dessen Enden die Fussschrauben hindurchgehen, oder die seine Stelle vertretende Kreisscheibe hinreichend massiv genommen werden muss, um den Schwerpunkt in die untere Hälfte des ganzen Instruments bringen zu können. Aus den Betrachtungen des vorigen Paragraphen folgt ferner, dass die verticalen Axen und ihre Büchsen, wenn sie cylindrisch oder konisch sind, ebenso horizontale Kreise, welche concentrisch mit der Axenbewegung aufgesetzt werden, sowie überhaupt alle diejenigen Theile, deren Schwerpunkt in die geometrische Axe der verticalen Drehungsaxe fällt, keiner Balancirung bedürfen; dabei ist nur vorausgesetzt, was in der Praxis auch durchgängig eingehalten wird, dass diese Axe mit der im vorigen Paragraphen festgestellten Schwerlinie zusammenfalle.

131. Alle diejenigen Theile des Instruments dagegen, bei welchen dieser Umstand nicht statthat, müssen durch entsprechende Gegengewichte äquilibrirt werden. Es sind hier namentlich die gegen die verticale Axe excentrisch angebrachten Fernrohre und verticalen Kreise in Betracht zu ziehen, wie dies aus folgenden Beispielen erhellt.

In Fig. 104 stellt $M\,M$ den Fuss eines Instruments vor, in dessen Mitte die Büchse B mit der verticalen Axe steht; auf diese ist concentrisch der horizontale Kreis $K\,K$ und eine die Ständer $S\,S$, an deren Enden sich die Lager $L\,L$ befinden, tragende Scheibe aufgesetzt. Alle diese Theile des Instruments sind der Art, dass ihr Schwerpunkt in die Richtung der verticalen Axe fällt, sie bedürfen also keiner Balancirung. Bringt man aber in die Lager $L\,L$ eine horizontale Axe $A\,A$, die am einen Ende das Fernrohr $F\,F$ trägt, so muss am andern Ende ein diesem an Schwere gleiches Gegengewicht G angebracht werden, wenn kein einseitiger Druck vorhanden sein soll.

Befindet sich das Fernrohr $F\,F$ (Fig. 105) in der Mitte der Axe $A\,A$, oder ist am einen Ende derselben das Fernrohr $F\,F$ (Fig. 106), am andern Ende ein verticaler Kreis $K\,K$ angebracht, der gleiche Schwere wie das Fernrohr hat, so ist keine Balancirung erforderlich, wenn nur die übrigen Theile des Instruments die in Fig. 104 dargestellte Einrichtung haben.

Bringt man dagegen an beiden Enden der horizontalen Axe $A\,A$ ver-

ticale Kreise KK und $K'K'$ (Fig. 107) und am einen Ende ausserdem noch das Fernrohr FF an, so muss am andern Ende wieder ein Gegengewicht G sich befinden, das gleiche Schwere mit dem Fernrohre besitzt. Gibt man aber hierbei dem Fernrohre seine Stellung in der Mitte der Axe (Fig. 109) und bringt an die beiden Enden derselben die verticalen Kreise KK und $K'K'$, so ist kein Gegengewicht nöthig, weil auch kein einseitiger Druck gegen die verticale Axe vorhanden ist.

Die hier zu Grunde liegenden Sätze sind übrigens von einigen Künstlern nicht immer genau eingehalten worden. So kommt es vor, dass das Fernrohr in der Mitte der horizontalen Axe sich befindet und diese ausserdem am einen Ende einen verticalen Kreis trägt, ohne dass am andern Ende ein entsprechendes Gegengewicht angebracht wäre. Die Aequilibrirung ganz kleiner Theile, wie z. B. der Klemmen am Kreise u. s. w., kann allerdings, da ihr Gewicht als unmerklich betrachtet werden kann, ausser Acht gelassen werden; bei ganzen Kreisen dagegen ist die Nichtberücksichtigung dieses Umstandes entschieden als ein Fehler in der Construction des Instruments zu bezeichnen.

132. Die v. Reichenbach'schen Theodoliten sind so eingerichtet, dass der nämliche Kreis eine horizontale und eine verticale Stellung erhalten kann. Bei horizontaler Stellung sitzt der Kreis concentrisch mit der verticalen Axe auf, und auf ihm sind symmetrisch gegen die Axe Ständer mit Lagern befestigt, in welche eine horizontale Axe gebracht wird, bei der sich das Fernrohr in der Mitte befindet (Fig. 105); es ist also keine Balancirung erforderlich. Bei verticaler Stellung dagegen hat sowohl der Kreis KK (Fig. 108) als das Fernrohr FF eine gegen die in der Büchse B befindliche verticale Axe excentrische Lage; die horizontale Axe geht dabei durch ein messingenes Parallelepiped C hindurch. Hier muss also eine Balancirung eingerichtet werden, und zwar wird diese ganz entsprechend den in § 129 angeführten Grundsätzen mittels eines Hebels ab bewerkstelligt, dessen Hypomochlion h auf der Mitte der verticalen Axe ruht, an dessen einem Ende das Fernrohr und der Kreis aufliegt und an dessen anderm Ende sich ein den durch diese hervorgebrachten Druck äquilibrirendes Gegengewicht G befindet.

133. Bei den zu optischen Zwecken eingerichteten Theodoliten und den magnetischen Theodoliten von Lamont kommen excentrische Fernrohre F (Fig. 90) vor, welche am einen Ende einer Schiene mn befestigt sind, die auf der verticalen Axe, welche sich in der Büchse A bewegt, aufgesetzt ist. Es findet also hier gegen diese Axe ein einseitiger Druck statt, welcher durch ein am andern Ende der Schiene mn angebrachtes, dem Gewichte des Fernrohrs entsprechendes Gegengewicht G aufgehoben werden muss.

134. Die parallaktisch aufgestellten Instrumente ruhen entweder auf einer mit einem Dreifusse verbundenen verticalen Säule oder einem massiven Steinpfeiler auf, welcher auf einer horizontalen Unterlage aufsitzt, sodass

also auch hier die Stabilitätsbedingungen mit den in § 129 auseinandergesetzten zusammenfallen.

Die Führung der Stundenaxe ist bei den kleinern Instrumenten, z. B. bei den kleinen Fraunhofer'schen Heliometern, eine ganze Büchse, die nur an einem Punkte in der Mitte der verticalen Säule des Dreifusses befestigt ist. Um die durch diesen Punkt gehende Verticale muss der Druck gleichmässig vertheilt werden.

Bei den grossen Refractoren ist die Stundenaxe an zwei Punkten mit dem Steinpfeiler oder dem Dreifusse verbunden. Auch in diesem Falle muss der Druck wieder um die Schwerlinie des Fusses gleichmässig vertheilt werden; stets aber muss das Gewicht des letztern hinlänglich gross sein, um den Schwerpunkt des ganzen Instruments in die untere Hälfte desselben zu bringen.

Die Aequilibrirung der einzelnen Theile wird dann bei diesen Instrumenten gleichfalls mittels zweiarmiger Hebel durch Gegengewichte hergestellt. So muss vor allem das Gewicht des am Ende der Declinationsaxe befindlichen Fernrohrs durch ein oder mehrere Gegengewichte G und G' (Fig. 16) balancirt werden, und es gelten überhaupt, wie dies auch in der Figur deutlich gezeigt ist, die im Vorigen abgehandelten Sätze in voller Ausdehnung; besonders müssen die Vorrichtungen zur Verminderung des Druckes der Axe auf ihre Führung, welche wir nachher kennen lernen werden, genau mit Rücksicht auf diese Sätze construirt und angebracht werden.

135. Bisher hat es sich blos um solche Instrumente gehandelt, welche an drei Punkten auf einer horizontalen Unterlage aufruhen. Bei denjenigen Instrumenten nun, welche blos an zwei Punkten unterstützt sind — und hierher gehören alle Meridianinstrumente — ist zur Stabilität blos erforderlich, dass der Druck gegen diese beiden Punkte — die Lager — genau gleich sei. Es ist also hier eine ganz symmetrische Construction auf beiden Seiten von der Mitte der horizontalen Axe die zweckmässigste Einrichtung, wie dies Fig. 6 zeigt und auch bei allen neuern Meridianinstrumenten durchgeführt ist.

Uebrigens können bei diesen Instrumenten alle in § 131 erörterten Fälle (Fig. 104—109) in Ausführung kommen. Ein solcher Fall findet sich bei den Durchgangsinstrumenten im ersten Verticale [1]), welche in der Regel das Fernrohr ausserhalb der Lager tragen (Fig. 7) und bei welchen also der Druck gegen diese durch ein am andern Axenende befindliches Gegengewicht ausgeglichen werden muss.

---

1) Struve, Description etc., S. 167. Maury, Washington observations, I, 51.

II. Balancirung zur Verminderung des Druckes gegen die Unterlage.

136. Wenn ein schwerer Körper auf einem andern bewegt wird, so entsteht eine Reibung, welche um so grösser ist, in je mehr Punkten sich die beiden Körper berühren, je mehr ihre berührenden Flächen Unebenheiten besitzen und endlich mit einem je grössern Gewichte der bewegte Körper auf den als Unterlage dienenden drückt; die Kraft, welche dabei zur Fortbewegung des erstern Körpers angewendet werden muss, hängt ebenfalls von diesen Umständen ab. Mit der Reibung ist immer eine gegenseitige Abnutzung verbunden, welche noch von der Beschaffenheit des Materials abhängt, aus dem die reibenden Körper bestehen.

Alle diese Umstände sind bei den beweglichen Theilen der astronomischen Instrumente und zwar namentlich bei den Axen derselben genau zu berücksichtigen. Man wählt mit Rücksicht darauf das Material [1]) für dieselben; man gibt ihnen an sich schon eine möglichst ideale Figur [2]); man bringt sie an möglichst wenigen Punkten mit ihrer Führung in Verbindung [3]) und man vermindert den Druck ihres Gewichts gegen dieselbe durch einen Gegendruck, durch die Balancirung. Der letztere Punkt ist es, welchen wir hier zu behandeln haben und zwar wieder für verticale, horizontale und geneigte Axen.

1. Balancirung bei verticalen Axen.

137. Bereits in § 14 des ersten Abschnitts wurde die Nothwendigkeit der Balancirung verticaler Axen zur Verminderung des Druckes gegen die Büchse gezeigt und daselbst angeführt, dass bei ihnen ein entsprechender Gegendruck mittels Federn bewerkstelligt wird. Die Form dieser Federn nach der gewöhnlichsten Einrichtung zeigt Fig. 2, welche die Büchse von unten aus betrachtet darstellt. Die Lamelle $a\,b\,c$ ist von federhartem Stahle oder auch von Messing und je nach Bedürfniss stark; sie wird mittels der drei Schrauben α, β, γ unten an das Instrument angeschraubt, sodass das hervorstehende Ende der Axe in der Mitte bei s aufsitzt. Je fester man nun die Schrauben α, β, γ bei hinreichender Stärke der Feder $a\,b\,c$ anzieht, um so stärker ist der Druck von unten nach oben, und es ist also klar, wie auf diese Weise der Druck der Axe gegen die Büchse auf ein Minimum herabgebracht und auch jeder Zeit regulirt werden kann.

Man hat dieser Vorrichtung auch noch die einfachere in Fig. 3 dar-

---

1) Abschnitt I, § 9.

2) Abschnitt I, § 8, 13, 21.

3) Abschnitt I, § 10.

gestellte Form gegeben. Durch die Schrauben α, β, γ wird die Feder, welche hier ein einfacher, aber hinlänglich starker Messingstreifen oder auch zwei solche auf einander geschraubte Stücke sind, wieder unten an der Büchse befestigt, sodass das hervorstehende Ende der Axe in der Mitte bei *s* aufsitzt. Zieht man nun ein- für allemal die Schrauben α, β fest an, so lässt sich mittels γ ein mehr oder minder grosser Gegendruck erzielen.

Es ist klar und auch schon am oben angeführten Orte gesagt worden, dass der durch die Feder ausgeübte Gegendruck, streng genommen, dem Gewichte der Axe und der auf ihr lastenden Theile des Instruments genau das Gleichgewicht halten sollte, dass dagegen in der Wirklichkeit stets eine wenn auch nur geringe Reibung bei der Bewegung vorhanden sein muss.

138. Bei den grössern Instrumenten reicht jedoch die federnde Kraft des Metalls zur Erzeugung des nöthigen Gegendrucks nicht mehr aus und Ertel [1]) hat deshalb bei dem grossen Verticalkreise für die pulkowaer Sternwarte die in Fig. 91 dargestellte Vorrichtung zu diesem Zwecke angebracht.

Die verticale Axe steht bei *a* unten aus ihrer Büchse *B* hervor. An diese ist eine mit drei Armen *m*, *m* versehene Platte *p* mittels der Schrauben *s*, *s* so befestigt, dass ihre Mitte unter das abgerundete Axenende *a* zu liegen kommt. Mit den Armen *m*, *m* sind drei zweiarmige Hebel *h*, *h* verbunden, deren Hypomochlion bei α, α sich befindet. Die zusammenstossenden Arme dieser Hebel liegen gegen die Mitte der Platte *p* an; an die andern Hebelarme sind die Gewichte *g*, *g*, *g* angehängt. Diese Gewichte drücken also die an *p* anliegenden Hebelarme fest an und erzeugen so den verlangten Gegendruck. Durch Veränderung der Lage der Gewichte *g*, *g* gegen das Hypomochlion kann dann auch bei dieser Einrichtung der Gegendruck und also auch die Bewegung der Axe in ihrer Büchse regulirt werden.

2. Balancirung bei horizontalen Axen.

139. Es ist aus dem oben in § 136 über die Reibung Gesagten von selbst ersichtlich, dass auch bei den horizontalen Axen mit der Zeit die Lager und die Zapfen Schaden leiden müssen [2]), wollte man das ganze Gewicht der Axe, des Fernrohrs und der Kreise auf den Lagern aufruhen lassen. Besonders aus diesem Grunde, aber auch schon deshalb, weil bei grossem Gewichte des Instruments die Gleichförmigkeit und Leichtigkeit der Bewegung der Axe beeinträchtigt würde, hat v. Reichenbach die folgende Art der Balancirung eingeführt.

---

1) Struve, Description etc., S. 132, Taf. XVI u. XXVII.
2) Vgl. Abschnitt I, § 25, 26.

Auf den Pfeiler P (Fig. 92) ist eine messingene Säule M aufgesetzt, welche den Hebel $a\,b$ trägt, dessen Hypomochlion sich in H befindet. An dem einen Arme dieses Hebels ist bei a eine Stange $c\,d$ angehängt, welche bei d mit der Axe A verbunden ist; an dem andern Hebelarme b dagegen ist ein Gewicht G angebracht, welches der Hälfte des Instruments genau das Gleichgewicht hält. Die gleiche Einrichtung befindet sich an dem andern Pfeiler des Instruments, sodass auf diese Weise die Axe frei schweben würde.

140. Da es jedoch für eine sichere Bewegung nothwendig ist, dass die Axe einen kleinen Druck gegen die Lager ausübe, so muss man entweder die Gegengewichte in einer solchen Entfernung vom Hypomochlion H der Hebel $a\,b$ anbringen, dass das Gewicht der Axe nicht vollständig äquilibrirt wird, oder man lässt die Zapfen der Axe durch eigene Vorrichtungen gegen das Lager mit einer geringen Kraft niederdrücken. Es sind hierzu zwei Mittel bisher angewendet worden. Der Zapfen Z wird nämlich entweder durch eine mit dem Lager verbundene Feder $f\,f$ (Fig. 100) oder durch ein kleines, am Ende eines Hebelarms $m\,n$ (Fig. 101), welcher um ein am Lager befestigtes Gelenk h beweglich ist, wirkendes Gewicht g niedergedrückt. Mehrmals wurde mit dieser letztern Einrichtung eine Libelle L auf die in Fig. 102 dargestellte Art verbunden [1]), um jeder Zeit die Figur der Zapfen bezüglich der genauen Kreisform [2]) prüfen zu können. Ohne Zweifel ist zum Niederdrücken der Axe gegen die Lager den Gegengewichten der Vorzug vor den Federn einzuräumen, weil letztere sehr leicht lahm werden.

141. Es ist zweckmässig, bei der oben angegebenen Balancirung den Hebelarm $H\,b$ (Fig. 92) möglichst lang zu machen, um das Gegengewicht G kleiner nehmen zu können; dabei muss aber dann dieser Hebelarm einige Führung haben, was man durch eine eigenthümliche Construction des obern Endes der Säule M (Fig. 92 u. 95) oder durch eine zweite Säule M (Fig. 96) bewerkstelligt, wo überall der Hebelarm sich zwischen zwei Wänden befindet, welche eine seitliche Bewegung desselben nicht gestatten.

Was die Verbindung des andern Hebelarms $H\,a$ (Fig. 92) mit der Stange $c\,d$ betrifft, so gab man dem Ende der letztern entweder eine Oeffnung, durch die der Hebelarm hindurchgeht (Fig. 96, 97), oder man hat das Ende von $c\,d$ umgebogen (Fig. 95) und unten eine Spitze s angebracht, welche auf das Ende des Hebelarms $h\,a$ aufgesetzt wird.

Das andere Ende der Stange $c\,d$ (Fig. 92) muss mit der Axe A verbunden werden und zwar in der Art, dass sich die letztere dabei ungehindert bewegen kann. Man erreicht dies auf folgende Weise:

---

1) Annales of the astron. observatory of Georgetown College, Nr. I, Taf. VI, Fig. 5.
2) S. Abschnitt I, § 21.

142. Man lässt nämlich die Axe A (Fig. 98) durch einen Ring $R\,R$ gehen, welcher an der Stange $c\,d$ befestigt ist. Würde man hierbei die Axe einfach in dem Ringe aufliegen lassen, so würde eine beträchtliche Reibung entstehen, weshalb man in demselben sogenannte Frictionsrollen r, r anbringt.

Unter Frictionsrollen, deren man stets wenigstens zwei haben muss, versteht man kreisrunde Scheiben A, B (Fig. 93), welche um die Axen a, b, die durch ihren Mittelpunkt gehen, beweglich sind. Bringt man diese Rollen in die durch die Figur angezeigte Stellung gegen eine Rotationsaxe C, so liegt diese blos an zwei Punkten auf und die Reibung wird dabei sehr vermindert. Diese Verminderung der Reibung findet fast in dem Verhältnisse zwischen den Durchmessern der Axen a, b und der Rollen A, B statt [1]), weshalb es zweckmässig ist, die letztern immer so gross zu nehmen, als dies mit den sonstigen Verhältnissen sich vereinbaren lässt. In manchen Fällen ist es vortheilhaft, mehrere solcher Rollen in gleichen Abständen um die Axe C (Fig. 94) zu einem sogenannten Rollenkranze zu vereinigen, und zwar sind bisher 3 und 5 Rollen gebraucht worden.

Bei den Balancirungsvorrichtungen horizontaler Axen sind übrigens stets nur zwei Rollen r, r (Fig. 98) mit dem an der Stange $c\,d$ befindlichen Ringe $R\,R$ verbunden. Dieser Ring ist dabei an seiner untern Hälfte so ausgedreht, dass er zwei durch einen Zwischenraum getrennte Halbringe bildet, zwischen welchen sich die Frictionsrollen befinden, deren Axen eben in diesen halben Ringen geführt werden.

Repsold hat bei seinen Meridiankreisen [2]) das untere Ende des Armes A (Fig. 97) blos hakenförmig umgewunden, also keinen geschlossenen Ring angebracht und mit dieser Windung die Frictionsrollen r, r verbunden, auf welchen die Axe, welche an dieser Stelle stets eine sorgfältig ausgedrehte Nuth besitzt, aufliegt. Es wird dadurch der Vortheil erzielt, dass man beim Umlegen des Instruments die Axe sogleich herausführen kann, während man bei einem vollständigen Ringe denselben erst abnehmen oder freimachen muss.

Wo deshalb ganze Ringe angewendet werden, sind diese so eingerichtet, dass ihre untere Hälfte einmal bei a (Fig. 98) durch ein Gelenke und bei b durch eine Schraube mit der obern Hälfte verbunden ist und sie also geöffnet werden können.

143. Bei der angeführten Art der Balancirung befindet sich der Hebel mit dem Gegengewichte oberhalb der horizontalen Axe; bei neuern Instrumenten findet man dagegen denselben häufig so angebracht, dass er unter-

---

1) Gehler's Physikalisches Wörterbuch (neue Ausgabe), Art. Reibung, Bd. VII, Abthl. II, S. 1378.

2) Struve, Description etc., Taf. XXX. Königsberger Beobachtungen, Abthl. XXVII, Thl. I, Taf. I, Fig. 2. Astronomische Nachrichten, Bd. XV, Nr. 349.

halb der Axe wirkt, und zwar wurde diese Art der Balancirung in der verschiedensten Weise ausgeführt.

Bei dem Ertel'schen Durchgangsinstrumente in Pulkowa [1]) ist die das Hypomochlion h (Fig. 6) des Hebels $a\,b$ bildende Axe in einem ganz kurzen Säulchen m beweglich, welches auf dem Steinpfeiler P befestigt ist. Das Ende des Hebelarms $h\,b$ trägt einen bogenförmigen Ansatz, in welchem die Frictionsrollen r laufen; das am andern Hebelarme $h\,a$ wirkende Gegengewicht G übt den entsprechenden Gegendruck aus.

Bei den Durchgangsinstrumenten im ersten Verticale [2]) ist die Einrichtung blos dahin abgeändert, dass die Gegengewichte G, G (Fig. 7) einander zugewendet sind. Bei dem Meridiankreise in Rom [3]) haben die Hebel, welche bei den bisherigen Einrichtungen in der Richtung der Axe lagen, eine gegen dieselbe senkrechte Lage (Fig. 110); dabei liegt das eine Gegengewicht gegen Norden, das andere gegen Süden.

144. In früherer Zeit, wo an den Meridiankreisen blos ein einziger Kreis sich befand, wurde dieser durch ein eigenes Gegengewicht balancirt; es entsteht aber hierdurch ein ungleicher Druck gegen die beiden Steinpfeiler, welcher, da diese nicht absolut fest sind, nachtheilig auf die Beobachtung, falls die Axe umgelegt wird, wirken kann. Bessel [4]) brachte deshalb auf dem zweiten Pfeiler ein Gewicht an, welches den einseitigen Druck der Balancirung des Kreises ausglich. Bei den neuern Instrumenten mit zwei Kreisen findet diese Ausgleichung schon an und für sich statt.

Federdruck anstatt der Gegengewichte anzuwenden ist deshalb nicht zweckmässig, weil sich die Elasticität derselben mit der Zeit ändert; blos Spiralfedern wären vielleicht mit Vortheil zu gebrauchen.

145. Bei einigen neuern Instrumenten wurde die Balancirung der horizontalen Axe mit den am Instrumente unveränderlich angebrachten Umkehrungsvorrichtungen [5]) verbunden.

Bei dem Refraction Circle in Washington [6]), welcher eine solche Einrichtung besitzt, besteht die Umkehrungsvorrichtung aus zwei langen eisernen Schienen $s\,s$ und $s'\,s'$ (Fig. 114), welche an den beiden Steinpfeilern P, P entlang in die Höhe gehen und unten an einer Platte $a\,b$ befestigt sind. Auf dieser Platte ist ein tischartiger Aufsatz $M\,M$ angebracht, in dessen Mitte bei p eine Stange v, v eingelassen ist, welche nach abwärts

---

1) Struve, Description etc., Taf. XXIII.

2) Struve, Description etc., Taf. XXXII. Maury, Washington observations, Vol. I, Taf.. IV.

3) Secchi, Memoire dell' osservatorio in Collegio Romano, Anno 1850, Fig. I u. II.

4) Bessel, Königsberger Beobachtungen, Abthl. VI, S. V.

5) S. Abschnitt I, § 29, 30.

6) Maury, Washington observations, Vol. I, Anhang, S. 23 ff.

durch die Platte $a\,b$ frei hindurchgeht und an ihrem obern Ende eine Schraube bildet, die mit einem Triebwerke t in Verbindung steht. Das untere Ende der Stange v, v liegt auf dem Stücke $l\,l$ auf, das zwei Hebel $q\,u$ und $q'\,u'$ trägt, deren Hypomochlien p und p' an zwei Säulchen w, w, die feststehen, angebracht sind; an diesen beiden Hebeln wirken die Gegengewichte W und W', welche die ganze Umkehrungsvorrichtung sammt dem darauf lastenden Drucke balanciren.

Das obere Ende der Schienen $s\,s$ und $s'\,s'$ reicht bis zur horizontalen Axe des Instruments und ist in Fig. 103 gesondert dargestellt. Es trägt nämlich bei h eine Axe, welche das Hypomochlion eines Hebels $m\,n\,o$ bildet, mit dem die beiden Systeme von Frictionsrollen r, r, auf denen die Axe liegt, in Verbindung stehen, und an dessen längerem Arme das den Druck der Axe gegen die Lager aufhebende Gegengewicht G sich befindet. Dieser Hebelarm $h\,n\,o$ bildet dabei eine Gabel (Fig. 104), zwischen der die Axe hindurchgeht.

Die Schienen $s\,s$ und $s'\,s'$ (Fig. 114) der Umkehrungsvorrichtung haben also stets die ganze Last der Axe und ihrer Gegengewichte zu tragen, und darnach müssen auch die Gewichte $W\,W'$ eingerichtet sein. Die beiden Kreise $K\,K$ und $K'\,K'$ sind jedoch gesondert balancirt und zwar aus einem Grunde, den wir weiter unten kennen lernen werden.

Soll das Instrument umgelegt werden, so darf nur mittels des Triebwerks t die Platte $a\,b$, welche für gewöhnlich in gleicher Ebene mit dem Fussboden des Beobachtungslokals steht, und also auch die Schienen $s\,s$ und $s'\,s'$ gehoben und das Ganze dann um 180° gedreht werden. Es leuchtet übrigens ein, dass bei der ungeheuren Länge der Schienen, obwohl dieselben bei v und v' geführt werden, stets beim Umkehren eine nicht unbeträchtliche Unsicherheit und Gefahr für das Instrument vorhanden ist.

146. Diese Missstände hat Lamont bei der Umkehrungsvorrichtung zu beseitigen gesucht, welche er an dem neuen Durchgangsinstrumente der münchner Sternwarte anbrachte und mit welcher ebenfalls die Balancirung des Druckes der Axe gegen die Lager verbunden ist.

Die Axe $A\,A$ (Fig. 115) ruht auf den beiden Systemen von Frictionsrollen r, r, welche sich an den Enden der Messingsäulen $s'\,s'$ befinden. Diese Säulen endigen unten in Spitzen $c\,c$, welche auf den kürzern Armen zweier Hebel h aufruhen, die mittels Schneiden auf einer starken Eisenplatte $B\,B$ aufsitzen und an ihren längern Armen die Gegengewichte g, g tragen. Diese Gegengewichte drücken also die Säulen s, s in die Höhe und sind so eingerichtet, dass sie die Axe nur mit einem ganz geringen Drucke auf den Lagern, welche die in § 26 beschriebene Einrichtung haben, aufliegen lassen. Damit hierbei die Säulen s', s', auch wenn die Platte $B\,B$ gehoben wird, sicher stehen, sind sie durch Stahlbänder d, d mit vier andern Säulen s, s, von denen die Figur aber nur die beiden vordern zeigt, verbunden.

Die Platte $B\,B$ ruht selbst wieder auf einer starken Eisenstange T, welche durch den Fussboden des Beobachtungssaales hindurchgeht und auf dem Ende des einen und zwar kürzern Armes $h\,m$ eines zweiarmigen Hebels $m\,n$ (Fig. 116) aufsitzt. Der längere Arm $h\,n$ dieses Hebels trägt das Gegengewicht G und wird gewöhnlich in einer solchen Stellung festgehalten, dass die Platte $B\,B$ gerade hoch genug steht, um mittels der Säulen $s'\,s'$ die Axe $A\,A$ des Instruments in den Lagern aufliegen zu lassen. Wird aber das Gewicht G (oder der Hebelarm $h\,n$) freigelassen, so hebt es, da es hinlänglich schwer ist, die Stange T so weit in die Höhe, bis die Axe aus den Lagern gehoben ist; sodann wird es wieder festgehalten. Die Platte $B\,B$ und mit ihr das Instrument kann hierauf ganz leicht um 180° gedreht werden.

Mit dem Hebelarme $h\,n$ war bisher eine Kette verbunden, welche durch ein Loch des Fussbodens in den Beobachtungssaal hinaufging. An dieser Kette sind zwei Ringe befestigt, welche in einen Haken eingehängt werden können und deren Entfernung durch die beiden angeführten Stellungen des Hebels und der Stange T gegeben ist. Lamont hat jedoch vor, diese Kette durch eine andere Vorrichtung zu ersetzen.

Die Spitzen $c\,c$ (Fig. 117) am untern Ende der Säulen s', s' gestatten eine kleine Correction der Länge derselben, indem sie das Ende von Schrauben bilden, welche in die Grundfläche dieser Säulen mehr oder weniger tief eingeschraubt werden können.

Neben den Spitzen c, c gehen zwei Schrauben v, v durch die kürzern Hebelarme so hindurch, dass ihr Ende von der Platte $B\,B$ nur ganz wenig absteht; sie verhindern also, wenn die Platte $B\,B$ und damit die Axe gehoben wird, ein Ueberschlagen der Hebel $h\,h$ und $h'\,h'$, welches ausserdem statthaben würde, weil die Gegengewichte g, g den Druck der Axe nicht vollständig balanciren.

3. Balancirung bei geneigten Axen.

147. Die geneigten Axen werden ebenfalls durch die Schwere in verticaler Richtung gegen die ihnen zugehörigen Führungen gedrückt. Diesen Druck kann man aber in der Praxis direct nicht aufheben, sondern man muss ihn in zwei Componenten zerlegen, von denen die eine in die Länge der Axe, die andere in eine darauf senkrechte Richtung fällt; nach diesen beiden Richtungen kann man dann einen entsprechenden Gegendruck anbringen. Der Druck senkrecht auf die Länge der Axe kann dabei vollständig aufgehoben werden; was dagegen den Druck in der Richtung der Axenlänge betrifft, so ist es für eine sichere Bewegung wieder erforderlich, stets einen geringen Druck übrig zu lassen.

a) Balancirung des Druckes in der Richtung der Axenlänge.

148. Die Verminderung des Druckes der geneigten Axen gegen ihre Führung und zwar in der Richtung ihrer Länge kann ganz nach denselben Grundsätzen ausgeführt werden, welche den oben § 137 beschriebenen, zu gleichem Zwecke bei den verticalen Axen angewendeten Einrichtungen zu Grunde liegen, und wirklich findet sich bei den Stundenaxen der kleinen Fraunhofer'schen Heliometer die erste am angeführten Orte behandelte Vorrichtung ausgeführt. Die Axe bewegt sich nämlich in einer Büchse, an welche unten eine Feder $a\,b\,c$ (Fig. 2) mittels dreier Schrauben α, β, γ befestigt ist, wobei also wieder bei gehöriger Stärke der Feder durch Anziehen dieser Schrauben ein hinreichender Gegendruck ausgeübt werden kann.

Bei den Stundenaxen der grossen Refractoren lässt sich dies jedoch nicht gut ausführen; man hilft sich dabei durch die Construction der Axe auf folgende Weise: Man gibt nämlich, wie schon früher (Abschnitt I, § 33) angegeben wurde, der Axe an denjenigen Stellen, wo sie geführt wird, eine cylindrische Form und lässt ihr sphärisch abgerundetes Ende auf einer möglichst ebenen Platte laufen, sodass es daselbst blos an einem einzigen Punkte aufliegt, oder man macht in diese Platte eine kleine Vertiefung, welche das abgerundete Axenende in einem ganz kleinen Kreise berührt. Gegen diesen Punkt oder diese kleine Kreisperipherie findet also der Druck in der Richtung der Axenlänge statt, übt aber eben wegen der geringen Anzahl der berührenden Punkte einen ganz unbedeutenden Einfluss aus. Die Führungen f und f' (Fig. 16) sind dabei zwei ganz kurze Büchsen, welche sich an die beiden cylindrischen Stellen der Axe anschliessen; diese Cylinder an der Axe müssen aber etwas länger sein als die zugehörigen Führungen (oder auch dicker als die anliegenden Theile der Axe), damit bei einer Temperaturveränderung, mit welcher immer auch eine Längenveränderung der Axe verbunden ist, diese nicht eingezwängt werden kann.

149. Bei den Declinationsaxen kann keine der angeführten Einrichtungen zur Verminderung des Druckes nach der Länge der Axe gebraucht werden, da einmal an ihrem Ende noch das Gegengewicht zur Aufhebung des vom Fernrohre einseitig ausgeübten Druckes (§ 134) angebracht werden muss, und ausserdem das Axenende selbst nicht an einer bestimmten Stelle bleibt, wie dies bei der Stundenaxe stattfindet. Man muss deshalb hier andere Vorrichtungen zu dem genannten Zwecke anbringen und zwar wendet man in der Regel die sogenannten Ringfedern an.

Die gewöhnlichste Art dieser Federn stellt Fig. 17 dar. Ein ringförmiges Blech (Fig. 17a) wird so aufgebogen, dass es gewölbt ist (Fig. 17b); ausserdem werden noch, um die Federkraft zu erhöhen, Einschnitte (e, e, e, e) in dasselbe gemacht und zwar gewöhnlich vier solcher Einschnitte, an deren Enden sich ein kleines rundes Loch befindet.

Endigt nun die Axe A (Fig. 18) mit einer Schraube s, und bringt man zwischen das Ende der Büchse und die zu dieser Schraube gehörige Mutter

$m\,m$ die eben beschriebene Ringfeder $r\,r$, so lässt sich bei hinreichender Stärke derselben, je nachdem man die Schraubenmutter mehr oder weniger stark anzieht, ein beliebiger Gegendruck ausüben.

Auf solche Weise wird denn bei der Declinationsaxe die Ringfeder zwischen der Büchse $B\,B$ (Fig. 16) und dem Declinationskreis $D\,D$ eingesetzt. Es soll dadurch zugleich der Vortheil erzielt werden, dass auch bei der durch Temperaturerhöhung bedingten Ausdehnung die Axe gehindert wird, sich an denjenigen Stellen der Büchse, welche ihr zur Führung dienen, einzuzwängen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Büchse, wenn sie sich ausdehnt, da ihr fester Punkt am obern, dickern Ende der Axe ist, dem dünnern Theile der konisch ablaufenden Axe zugeschoben wird; diese kann sich dann nicht mehr vollständig an die Büchse anschliessen, sie muss schlottern. Merz [1]) hat bei seinen in neuerer Zeit verfertigten Refractoren diesen Uebelstand dadurch umgangen, dass er die Ringfeder zwischen die Ansatzplatte am obern Ende der Axe und das obere Ende der Büchse bringt. Er lässt ausserdem schon bei der Anfertigung die Axe bei bedeutend höherer Temperatur, als die der Büchse ist, in die letztere einpassen, um ein Kleinerwerden der Büchse durch Zusammenziehen bei niedrigerer Temperatur zu verhindern. Uebrigens ist auch für diesen Fall die Ringfeder in der eben angeführten Lage am geeigneten Orte, da jetzt die vom dickern Ende der Axe weggehenden Theile der Büchse auch den dünnern Stellen der Axe zugeführt werden und diese somit nicht mehr in die Büchse gepresst werden kann.

Anstatt der oben beschriebenen Art von Ringfedern wurde noch eine andere Gattung häufig angewendet, bei welcher das ringförmige Blech wellenförmig aufgebogen ist. [2])

b) Balancirung des Druckes senkrecht auf die Länge der Axe.

150. Wir haben nun die Art und Weise zu erörtern, wie man den Druck senkrecht gegen die Länge der Axe balancirt. Es geschieht dies stets durch Hebel und Gegengewichte, und zwar muss dabei immer das Hypomochlion des Hebels in derjenigen Verticalen (§ 134) liegen, um welche der Druck aller Instrumententheile symmetrisch vertheilt werden muss. Dabei sind jedoch wieder einige Modificationen erforderlich, je nachdem man die Stundenaxe oder die Declinationsaxe zu balanciren hat.

Bei der Stundenaxe, welche blos um ihre geometrische Axe rotirt, sonst

---

1) Merz, Einige Verbesserungen in der parallaktischen [Aufstellung: Astronomische Nachrichten, Bd. XXX, Nr. 715.

2) Wir werden später (Abschnitt VII, § 204 u. 217) das den Ringfedern zu Grunde liegende Princip beim Fraunhofer'schen Filarmikrometer und Heliometer in anderer Weise angewendet finden; daselbst dient nämlich die Ringfeder zum Zusammenhalten zweier Theile des Instruments.

aber eine unveränderliche Stellung hat, wird am einfachsten ein gerader Hebel $a\,b$ (Fig. 118) angewendet [1]), an dessen kürzerem Arme $h\,a$ ein Träger für die Frictionsrollen r angebracht ist und an dessen längerem Arme $h\,b$ das Gegengewicht G wirkt, welches den Druck der Axe genau äquilibrirt. Bei mehreren Refractoren bildet der längere Hebelarm eine Gabel, welche aufgebogen ist und durch welche die Axe hindurchgeht, sodass das Gegengewicht Q (Fig. 16) oberhalb der Axe angebracht werden kann. [2])

Auch zwei Hebel auf beiden Seiten der Stundenaxe S (Fig. 119) sind von Fraunhofer bei seinen kleinen Heliometern angewendet worden; die Hypomochlien dieser Hebel müssen in einer Linie liegen, welche einmal senkrecht auf der Axenlänge steht und dann auch durch die genannte verticale Schwerlinie des ganzen Instruments geht.

151. Zur Balancirung der Declinationsaxe sind bisher immer zwei Hebel auf beiden Seiten der Axe angewendet worden, bei welchen die so eben angeführten Bedingungen gleichfalls erfüllt sein müssen, und zwar deshalb, weil diese Axe die verschiedensten Richtungen in dem auf der Stundenaxe senkrecht stehenden Kreise erhalten kann. Aus diesem Grunde ist es auch nothwendig, das Hypomochlion a (Fig. 16) der beiden Hebel $b\,c$, von denen die Figur blos den einen mit seinem Gegengewichte g zeigt, so einzurichten, dass bei jeder Lage die Balancirung statthat; man erreicht dies dadurch, dass man bei demselben eine doppelte Axenbewegung anbringt, wie sie in § 34 beschrieben worden ist.

Anstatt der doppelten Axenbewegung kann man übrigens auch, wenigstens bei kleinern Instrumenten, eine sogenannte Kugelbewegung gebrauchen. Diese besteht darin, dass man den Stab $a\,b$ (Fig. 113), welcher den Hebel bilden soll, bei k, wo das Hypomochlion zu liegen kommt, kugelförmig abdreht und diese Kugel dann in zwei sphärischen Vertiefungen führt. Auf diese Weise kann ebenfalls eine kleine Bewegung nach jeder Richtung hin statthaben.

Zu bemerken ist noch, dass, während bei der Stundenaxe zwei Frictionsrollen (§ 142) am Angriffspunkte des kürzern Hebelarms hinreichen, bei der Declinationsaxe immer ein Rollenkranz ($T\,T$ in Fig. 16) von drei oder fünf Frictionsrollen angewendet werden muss, weil diese Axe die verschiedensten Lagen annehmen kann.

III. Balancirung zur Aufhebung einer Biegung.

152. Alle nicht vertical stehenden Theile eines astronomischen Instruments, welche nicht an jedem Punkte unterstützt werden, erfahren an den

---

1) Secchi, Descrizione del nuovo osservatorio del Collegio Romano, Taf. III.

2) Struve, Description etc., Taf. XXXIV u. XXXVI. Bond, Description of the observatory at Cambridge, Massachusetts, Taf. II.

freien Stellen streng genommen immer eine durch die Schwere verursachte Biegung. In vielen Fällen übt eine solche Biegung keinen störenden Einfluss auf die mit dem Instrumente angestellte Beobachtung aus, entweder weil sie zu unbedeutend ist, oder weil die Beobachtung nicht von dem betreffenden Theile abhängt; in andern Fällen dagegen ist sie genau in Betracht zu ziehen und zwar namentlich bei drei Theilen des Instruments: bei den Kreisen, bei den Axen und bei dem Fernrohre.

Bei den Kreisen übt die Schwere, wenn dieselben horizontal stehen, auf alle Punkte des Limbus dieselbe Wirkung aus, sodass als Endresultat wieder die Kreisform für den Limbus herauskommt. Es ist demnach auf diesen Punkt keine weitere Rücksicht zu nehmen, zumal da in der Praxis die Kreise nie so schwach construirt werden, dass allenfallsige Ungleichheiten im Materiale eine nachtheilige Aenderung ihrer Form verursachen könnten. Ueber die Schwerewirkungen bei verticalen Kreisen wurde bereits in Abschnitt II (§ 76 u. 77) das Nöthige abgehandelt, und wir haben also, da auch bei geneigten Kreisen durch zweckmässige Construction, namentlich durch hinlängliche Anzahl und Stärke der Speichen, einer schädlichen Durchbiegung des Limbus vorgebeugt wird, und da hier auch eine solche, weil man ohnedies die absolute Bestimmung der Sternörter mit den Aequatorealen längst aufgegeben hat, von minder bedeutendem Einflusse wäre, nur noch die Beseitigung der Biegung von Axen und Fernrohren zu besprechen.

1. Beseitigung der Biegung an Axen durch die Balancirung.

153. Bei den verticalen Axen kann die Schwere blos einen Druck gegen die Büchse, aber keine Biegung erzeugen; bei geneigten Axen, welche blos an zwei Punkten geführt werden, muss streng genommen eine Biegung zu Stande kommen, allein dieselbe wird so unbedeutend sein, dass sie wenigstens bei Anwendung dieser Axen zur relativen Ortsbestimmung vernachlässigt werden darf, weil dieselben ohnedies hinlänglich stark construirt werden und nicht blos an zwei Punkten im geometrischen Sinne, sondern an längern Strecken geführt sind.

Von bedeutendem Nachtheile dagegen könnte eine Biegung bei horizontalen Axen werden; allein man verhindert eine solche dadurch, dass man bei den Balancirungsvorrichtungen zur Verminderung des Druckes gegen die Lager, welche, wie wir oben (§ 139 ff.) gesehen haben, auf dem Principe des zweiarmigen Hebels beruhen, den Angriffspunkt des kürzern Hebelarms (die Frictionsrollen) nicht an das Ende der Axe, sondern in eine grössere Entfernung davon setzt, wodurch also die Axen an vier nach ihrer Länge vertheilten Punkten unterstützt werden und wenigstens keine nachtheilige Biegung mehr zu Stande kommen wird.

154. Befindet sich am einen Ende einer horizontalen Axe $a\,a'$ (Fig. 120)

ausserhalb der Lager l, l das Fernrohr $F F$, so wird das nicht unbeträchtliche Gewicht desselben den ausserhalb des Lagers befindlichen Theil $a m$ der Axe nach abwärts, z. B. in die Richtung $a m'$ ziehen; das Fernrohr selbst kommt dadurch in eine andere Stellung $F' F'$ und seine Bewegung wird nicht mehr in einer Verticalebene stattfinden.

Zur Beseitigung einer solchen Biegung wurde bei den neuern Durchgangsinstrumenten im ersten Verticale [1]) im Innern der Axe $A A'$ (Fig. 7) ein Hebel $m n$ angebracht, dessen Hypomochlion über dem Lager des Zapfens A' sich befindet, dessen kürzerer Arm im Cubus C des Fernrohrs $F F$ angreift und dessen längerer Arm ein das Gewicht des Fernrohrs genau balancirendes Gegengewicht g trägt. Der kürzere Hebelarm muss dabei im Innern des Cubus C eine Gabel bilden, damit der vom Objective kommende Lichtkegel ungehindert zum Oculare gelangen kann; diese Gabel muss ausserdem mittels doppelter Axenbewegung an den Wänden des Cubus C befestigt sein, damit in jeder Lage des Fernrohrs Gleichgewicht statthat.

Es ist klar, dass dann das Gewicht Q, welches den Zweck hat, den Druck des Instruments auf die beiden Lager gleich zu machen (§ 135), dem Gewichte des Fernrohrs sammt seiner Balancirung gleich sein muss.

155. Eine ganz ähnliche Wirkung muss auch zu Stande kommen, wenn sich Kreise ausserhalb der Lager horizontaler Axen befinden, wie dies z. B. bei dem Refraction Circle in Washington der Fall ist, dessen Umkehrungsvorrichtung in § 145 beschrieben wurde. Aus diesem Grunde sind denn auch bei diesem Instrumente, wie bereits am genannten Orte angeführt wurde, die beiden Kreise $K' K'$ und $K K$ (Fig. 114) durch eigene Gegengewichte g, g balancirt und zwar in folgender Weise. Am Steinpfeiler P (Fig. 99) befindet sich ein Arm $a a$, der nach aufwärts und abwärts verschiebbar ist, an seinem obern Ende den Ansatz f trägt, in welchem die Frictionsrollen r, r laufen, und an seinem untern Ende auf die kürzern Arme zweier Hebel h, h drückt, welche an ihren längern Armen die Gegengewichte g, g tragen, die das Gewicht des ausserhalb der Lager befindlichen Theils der Axe sammt dem des Kreises genau balanciren.

2. Balancirung des Fernrohrs zur Aufhebung der Biegung.

156. In Nr. V des Abschnitts III (§ 111 ff.) wurde bereits die Biegung des Fernrohrs näher behandelt und daselbst angeführt, dass v. Reichenbach bei seinen Meridiankreisen versucht hat, diese Biegung durch Balancirung gänzlich wegzuschaffen. Diese Balancirung nun richtete er auf die in Fig. 111 dargestellte Weise ein.

An den beiden cylindrischen Hälften F, F des Fernrohrs sind die Stäbe

---

1) Maury, Washington observations, Taf. IV.

$m\,n$ befestigt und zwar bei der Objectivhälfte oben, bei der Ocularhälfte unten. An dem Cubus C sind oben und unten je zwei Messingschienen $h\,c$ angeschraubt, welche an ihren Enden das Hypomochlion h für die zweiarmigen Hebel $a\,b$ tragen, deren kürzere Arme $h\,a$ bei a mit der Mitte der Stäbe $m\,n$ verbunden sind und an deren längern Armen $h\,b$ sich bei b die Gegengewichte g, g befinden. Der obere Hebel zieht also die Objectivhälfte in die Höhe, der untere Hebel drückt die Ocularhälfte gleichfalls in die Höhe, und es ist so leicht einzusehen, dass man durch eine geeignete Lage der Gewichte g, g wenigstens die Biegung im Horizonte aufheben kann. Allein die Erfahrung hat gezeigt, dass bei dieser Einrichtung die Biegung nicht in jeder Lage des Fernrohrs aufgehoben wird [1]) und dann die Verhältnisse noch complicirter werden, als wenn keine Balancirung vorhanden ist, sodass dieselbe in neuerer Zeit gänzlich verlassen wurde.

157. Bei den parallaktisch aufgestellten Instrumenten ist die Biegung des Fernrohrs, wenn keine absoluten Ortsbestimmungen damit vorgenommen werden sollen, nicht in Betracht zu ziehen; da jedoch die Objective und namentlich auch ihre Fassungen bei grossen Fernrohren ein sehr beträchtliches Gewicht haben, so ist bei den meisten Refractoren die Objectivhälfte balancirt.

In der Nähe des Objectivs ist nämlich das Rohr von einem Ringe r (Fig. 112) umgeben, an welchem auf beiden Seiten die Arme $a\,c$ zweiarmiger Hebel $a\,b$ angreifen, deren Hypomochlion c sich an derjenigen Stelle befindet, wo das Fernrohr mit der Declinationsaxe verbunden ist, und an deren andern Armen $b\,c$ die Gegengewichte b und g [2]) die Biegung der Objectivhälfte aufheben. Damit diese Balancirung in jeder Lage des Fernrohrs ihren Zweck erfülle, müssen die Hypomochlien c der beiden Hebel mit doppelter Axenbewegung eingerichtet sein.

---

1) Hansen, Ueber die Biegung des Fernrohrs: Astronomische Nachrichten, Bd. XVII, Nr. 389.

2) Man könnte bei allen Balancirungsvorrichtungen zwei Gegengewichte von verschiedener Grösse anwenden, wo dann durch Verschiebung des kleinern der auszuübende Gegendruck corrigirt werden kann.

Sechster Abschnitt.

Von den Libellen.

I. Allgemeine Einrichtung der Libelle.

158. Bei allen Instrumenten, mit welchen Horizontalwinkel gemessen werden sollen, oder welche eine horizontale Axe besitzen, muss man Mittel haben, vermittelst welcher man sich von der genauen Horizontalität der betreffenden Theile des Instruments überzeugen und dieselbe herstellen kann. Diese Hülfsmittel nun sind die Libellen, welche zugleich auch dazu verwendet werden können, die unveränderliche Stellung eines bestimmten Instrumententheils zu prüfen. [1])

Eine Libelle ist im Wesentlichen eine an beiden Enden geschlossene Glasröhre AB (Fig. 121), welche innen in einem Kreisbogen ausgeschliffen ist. Wird nun diese Röhre bis auf einen sehr kleinen luftleer gemachten Raum — die fälschlich sogenannte Luftblase — mit einer Flüssigkeit gefüllt, so lehrt die Physik, dass dieser luftleere Raum a bei jeder Bewegung der Röhre AB den höchsten Punkt derselben einnimmt.

159. Legt man also eine solche Libellenröhre auf eine Ebene, so muss die Blase, falls die Ebene horizontal ist, sich genau in der Mitte der Röhre einstellen; neigt man hierauf die Ebene, so wird die Blase sich von der Mitte entfernen, und zwar gibt dieser Ausschlag der Blase, wenn der ausgeschliffene Bogen wirklich genau ein Theil eines Kreises ist, unmittelbar die Grösse der Neigung der Ebene an.

Man hat deshalb auf dem obern Theile der Röhre eine Scala angebracht, welche in eine bestimmte Anzahl gleicher Intervalle eingetheilt ist; in der Regel wird diese Scala auf der Glasröhre selbst aufgetragen.

---

1) Vgl. Abschnitt II, § 70.

Die Scala hat dann entweder blos einen Nullpunkt in der Mitte der Röhre, oder zwei Nullpunkte in gleicher Distanz von der Mitte; die Zahlen nehmen nach beiden Enden hin zu und zwar nach dem einen Ende mit dem Vorzeichen +, nach dem andern mit dem Vorzeichen —. Man liest selbstverständlich immer an beiden Enden der Blase ab und leitet daraus den Stand für die Mitte derselben her.

160. Bezeichnet man die Grösse des Ausschlags der Libelle — der Entfernung der Blase von der Mitte — in Längenmass ausgedrückt mit n, den Radius, unter welchem der Kreisbogen der Röhre ausgeschliffen ist, mit R und den Neigungswinkel der Libellenröhre gegen den Horizont mit φ in Secunden ausgedrückt, so hat man

$$n = \frac{2R\pi}{360.60.60} \cdot \varphi = \frac{R}{206265}\varphi.$$

Aus dieser Gleichung ist ersichtlich, dass die Grösse des Ausschlags — bei gleicher Neigung φ — von der Grösse des Radius R abhängt, ferner dass für $R=\infty$ auch $n=\infty$ wird. Cylindrische Röhren sind also nicht zu gebrauchen, da sich bei horizontaler Lage derselben die Blase an jedem Punkte einstellen kann; dagegen ist die Libelle um so empfindlicher, je grösser der Radius des Bogens ist, unter welchem die Röhre ausgeschliffen wurde.

II. Verfertigung der Libellen.

161. Die erste Operation bei der Anfertigung von Libellen ist das Herstellen der Kreisform der innern Wand der Glasröhre; es geschieht dies durch Schleifen vermittelst eines sogenannten Dorns. Dieser besteht aus einem metallenen Cylinder, dem auf der Drehbank genau die Form gegeben wird, welche die innere Röhrenwand erhalten soll. Ueber den so vorgerichteten Stab wird dann die Glasröhre geschoben und durch Schleifen mittels feinen Smirgels die beabsichtigte Gestalt hergestellt.

Die geschliffenen Libellenröhren werden an ihren beiden Enden entweder zugeschmolzen oder mit gutschliessenden Deckeln versehen, welche jedoch nicht eben, sondern, wie dies Fig. 121 zeigt, kugelförmig eingeschliffen sind. Im letztern Falle sind die Enden auch noch, um die Libelle längere Zeit in brauchbarem Zustande zu erhalten, mit glatter Kalbsblase, welche mit aufgelöstem arabischem Gummi oder noch besser mit Fischleim bestrichen ist, überzogen und gefirnisst. Ehe man aber einen solchen definitiven Verschluss bewerkstelligen kann, muss die Röhre zuvor mit einer geeigneten Flüssigkeit gefüllt werden.

162. Das älteste Mittel, dessen man sich zur Füllung der Libellen bediente, war Wasser; später gebrauchte man hierzu Weingeist [1]), weil der

1) Nach Poggendorf (Biographisch-literarisches Handwörterbuch, Bd. I, S. 1138) wurde die Weingeistlibelle im Jahre 1666 von Hooke erfunden.

Gefrierpunkt desselben tiefer liegt als der des Wassers; in neuerer Zeit dagegen werden die Libellen fast ausschliesslich mit Schwefeläther (Vitriolnaphtha) gefüllt. Die Trägheit in der Bewegung der Flüssigkeit ist nämlich um so grösser, je grösser ihr specifisches Gewicht ist; aus diesem Grunde eignet sich denn auch der Aether als die specifisch leichteste Flüssigkeit am besten zur Füllung der Libellen; die Blase folgt hierbei selbst der geringsten Bewegung.

163. Würde man die Röhre bis auf einen kleinen Theil, welcher die Blase bilden soll, mit einer dieser Flüssigkeiten anfüllen, so würde dieser freie Raum mit Luft erfüllt sein und die Ausdehnung derselben und der Flüssigkeit bei erhöhter Temperatur ein Zerspringen des Glases bewirken können; aus diesem Grunde muss die Blase ein luftleerer Raum sein. Um aber einen solchen herstellen zu können, verfährt man beim Füllen der Libelle auf folgende Weise. [1])

1. Die Libelle hat eingeschliffene Deckel.

a) Will man mit Weingeist füllen, so verschliesst man zuerst das eine Ende der Glasröhre, füllt dieselbe dann bis zum Rande mit dem Alkohol und zündet diesen an; nachdem er eine kurze Zeit hindurch, welche bei einiger Uebung leicht so ausgemittelt werden kann, dass die Blase nicht zu gross wird, gebrannt hat, schlägt man auf das offene Ende, während der Weingeist noch brennt, den Deckel, der nun schon durch den Druck der äussern Luft festgehalten wird. Die Flamme erlischt nach dieser Operation von selbst, weil keine Luft mehr hinzutreten kann, und man hat in dem freien Raume blos Weingeistdämpfe, welche nach der Erkaltung wieder in den flüssigen Zustand zurückkehren; die Libellenblase ist also ein luftleerer Raum.

Das Ueberbinden der Röhrenenden mit Kalbsblase und der Firniss dienen dann blos dazu, die Libelle für längere Zeit in brauchbarem Zustande zu erhalten, da diese Flüssigkeit selbst bei dem bestmöglichen Schlusse der Deckel dennoch sich verflüchtigt.

b) Soll die Libelle mit Schwefeläther gefüllt werden, so kann man die eben angeführte Methode nicht anwenden, weil bei dem Anzünden dieser Flüssigkeit eine gefährliche Explosion erfolgen würde. Man bereitet sich deshalb ein Wasser- oder Sandbad von + 36° Réaumur; dies ist nämlich die Temperatur, bei welcher der Schwefeläther siedet. In das Bad stellt man dann die Libellenröhre, nachdem sie am einen Ende geschlossen und bis an den Rand mit Aether gefüllt ist. Sobald derselbe siedet, lässt man durch einen Gehilfen noch ein paar Tropfen nachgiessen, damit die Blase nicht zu gross wird, und schlägt wie vorher den Deckel darauf.

---

1) Vgl. darüber auch Sawitsch, Praktische Astronomie, Bd. I, S. 70 ff.

2. Die Röhrenenden werden zugeschmolzen.

Sollen die Enden der Libellenröhre zugeschmolzen werden, so geschieht dies am einen Ende schon vor dem Füllen; das andere Ende wird einstweilen in eine Spitze mit einer feinen Oeffnung ausgezogen und durch diese sodann die Flüssigkeit in die Röhre bis zum Ende derselben gebracht. Um nun den luftleeren Raum herzustellen, bringt man die Röhre in ein Wasser- oder Sandbad, dessen Temperatur für Aetherlibellen wieder + 36°, für Weingeistlibellen dagegen + 78° (Siedepunkt des Alkohols) betragen muss. Sobald dann die Flüssigkeit siedet, schmilzt man die feine Oeffnung zu. Dieses Zuschmelzen bietet, besonders bei Anwendung des Aethers, mancherlei Schwierigkeiten dar, da durch die Annäherung der Flamme die Temperatur für die Flüssigkeit leicht zu hoch wird. Die Künstler scheinen deshalb auch nicht immer ganz reinen Schwefeläther zu verwenden, was sich daraus schliessen lässt, dass die zugeschmolzenen Aetherlibellen häufig nicht so empfindlich sind als die mittels Deckel geschlossenen.

164. Nachdem die Libellen auf die angegebene Weise gefüllt und geschlossen sind, werden sie mit einer Scala versehen, und zwar theilt man dieselbe durchgängig in pariser Linien und rechnet von der Mitte aus, wie bereits in § 159 angeführt wurde; die Scala wird dabei in der Regel auf dem Glase selbst aufgetragen.

Für die Anwendung der Libelle ist es aber erforderlich, den Winkelwerth der einzelnen Theile ihrer Scala zu kennen; man bestimmt denselben gewöhnlich vermittelst der sogenannten Niveaumaschine. Diese Vorrichtung besteht aus einer langen prismatischen Schiene AB (Fig. 122), welche auf drei Spitzen a, b, c ruht, von denen c das Ende einer Schraube S bildet, welche den am Rande mit einer Theilung versehenen Kopf K trägt. Auf der Schiene AB, zu der man gut ausgetrocknetes Holz oder auch Metall verwenden kann, sind zwei bewegliche Lager m, m angebracht, auf welche die Libelle gelegt wird, für welche der Werth der Scalentheile bestimmt werden soll.

Die Lager m, m sind bei der in Fig. 122 dargestellten Einrichtung in einer Rinne verschiebbar, welche die Schiene AB ihrer Länge nach durchzieht. Sie wurden auch mit einer zweiten Schiene CD (Fig. 123) verbunden [1]), die an zwei prismatischen Stücken P, P befestigt ist, welche dann auf die Schiene AB aufgeschraubt werden; die Lager m, m können hierbei mittels der Schrauben s, s an beliebigen Punkten der Schiene CD festgestellt werden. Die Lager m, m sind ferner auf die in Fig. 123 angezeigte Weise mit der Schiene AB (Fig. 122) selbst verbunden worden. [2])

---

1) Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, Bd. I, S. 59.

2) Struve, Description etc., Taf. XXXVII.

Die ganze Niveaumaschine muss auf eine vollkommen feste Unterlage — am geeignetsten ist hierzu ein isolirter Steinpfeiler [1]) — gestellt werden; unter die Spitzen a, b, c bringt man am besten ebene Glasplatten.

165. Ehe man nun an die Bestimmung des Winkelwerths der Scalentheile mittels dieser Vorrichtung geht, hat man einmal die geradlinige Entfernung der Schraubenspitze c von der Mitte d der Verbindungslinie der beiden andern Spitzen a und b, sodann die Länge eines Ganges der Schraube S in dem gleichen Masse wie $c\,d$ zu bestimmen; die Länge $c\,d$ wollen wir $= v$, die Länge eines Schraubenganges $= w$ setzen.

Bringt man sodann die Libelle auf die Niveaumaschine und dreht die Schraube S, bis die Blase einspielt, so wird bei weiterer Bewegung der Schraube die Blase ihren Ort verändern. Beträgt ihre Ortsveränderung für eine ganze Umdrehung der Schraube n Scalentheile, so hat man den Winkel für diese n Theile

$$= \frac{w}{v \sin 1''}$$

woraus sich der Werth für einen Scalentheil in Winkelmass ableiten lässt. Damit man hierbei einen ganzen Umgang der Schraube oder auch noch Unterabtheilungen desselben genau angeben kann, ist ein Zeiger z (Fig. 122) unabhängig von der Schraube mit der Schiene $A\,B$ verbunden und der Kopf der Schraube ausserdem an seinem Umfange in 60 oder 100 gleiche Intervalle eingetheilt.

166. Man muss sich ferner überzeugen, ob der Bogen der Libellenröhre ein wirklicher Kreisbogen ist; findet dies statt, so muss für die gleich grosse Umdrehung der Schraube der Ausschlag der Blase stets — die ganze Länge der Libelle entlang — der gleiche sein.

In der Wirklichkeit ist aber jede Libelle mehr oder weniger parabolisch; es ist deshalb der Werth eines Scalentheils $= p\ (1 + q\,x)$ zu setzen, wo x die Länge der Blase bezeichnet und p und q Constante sind, welche wieder mit der Niveaumaschine dadurch bestimmt werden, dass man die Ausschläge der Blase an verschiedenen Theilen der Röhre für die gleiche Zahl von Schraubenumgängen oder deren Bruchtheilen bestimmt. Man hätte zunächst blos nöthig, an zwei Stellen der Röhre die Bestimmung vorzunehmen; allein man vervielfältigt die Bestimmungen, theils um die zufälligen Fehler eliminiren zu können, theils auch um sich zu überzeugen, ob die Form der innern Röhrenwand wirklich eine Parabel ist.

167. Anstatt mit einer Niveaumaschine kann man den Winkelwerth der Scalentheile auch mittels eines Höhenkreises bestimmen. Man befestigt zu diesem Zwecke die Libelle an dem Kreise senkrecht gegen den Radius desselben und beobachtet an verschiedenen Stellen der Röhre den Ausschlag der Blase, welcher einer Drehung des Kreises um eine bestimmte Grösse entspricht.

---

1) Struve, a. a. O.

Ein weiteres Hülfsmittel zur Bestimmung des Winkelwerths der Scalentheile an Libellen kann jedes Azimutalinstrument abgeben, das auf einem Dreifusse ruht, dessen Fussschrauben einen eingetheilten Kopf besitzen; die Bestimmung selbst ist dann ganz die gleiche wie bei der Niveaumaschine. [1]) Allein es ist dabei zu beachten, dass bei unsern Theodoliten die Distanz der einen Fussschraube von der Mitte der Verbindungslinie der beiden andern Schrauben (*c d* in Fig. 122) in der Regel zu klein ist, um zu dem genannten Zwecke mit hinreichender Sicherheit benutzt werden zu können.

III. Fassung der Libellen.

168. Um eine Libelle mit einem astronomischen Instrumente zweckmässig in Verbindung bringen zu können, muss sie mit einer geeigneten Fassung versehen werden. Diesen Fassungen wurden bisher die verschiedenartigsten Einrichtungen gegeben, von denen wir im Folgenden die wesentlichsten behandeln werden.

Bei einer jeden Libellenfassung ist vor allem darauf Rücksicht zu nehmen, dass Correctionsvorrichtungen angebracht sein müssen, vermittelst welcher die geometrische Axe der Glasröhre mit der Linie, deren Neigung gegen den Horizont bestimmt werden soll, einmal genau in die nämliche Verticalebene gebracht und dann auch mit derselben genau parallel gestellt werden kann. Man erreicht dies dadurch, dass man die Libellenröhre in ihrer Fassung so anbringt, dass sie mittels Schrauben sowohl in verticaler als auch in horizontaler Richtung etwas verstellt werden kann.

Die Fassung muss dann je nach dem Zwecke, der durch die Libelle bei einem Instrumente erreicht werden soll, verschieden eingerichtet sein, und zwar kann man in dieser Hinsicht drei Klassen von Libellen unterscheiden, nämlich:

1. Libellen zum Aufsetzen oder Anhängen an eine Axe,
2. Libellen zum Auflegen auf eine Ebene und
3. fest angebrachte Libellen.

1. Libellen zum Aufsetzen oder Anhängen an eine Axe.

169. Solche Libellen kommen bei allen Instrumenten in Anwendung, welche eine horizontale Axe besitzen; sie dienen nämlich dazu, sich von der genau horizontalen Stellung dieser Axen zu überzeugen.

Diese Libellen werden dabei entweder an die Axe angehängt oder auf dieselbe aufgesetzt, und zwar geschieht diese Verbindung mit der Axe stets

---

1) Brünnow, Lehrbuch der sphärischen Astronomie, S. 431.

an den Zapfen, welche ja die eigentliche Rotationsaxe bilden, wie wir in Abschnitt I gesehen haben.

Die Libellen zum Aufsetzen auf eine Axe (Fig. 124, 126, 127) haben zwei Füsse *M*, *M*, welche im Allgemeinen die in Fig. 124 a dargestellte Form haben; die Libellen zum Anhängen an eine Axe (Fig. 125, 128) haben zwei Haken *M*, *M* von der in Fig. 125 a angezeigten Form. Diese Füsse und Haken *M*, *M* sind nämlich, analog den Zapfenlagern, unter einem Winkel ausgefeilt und kommen demnach mit den Zapfen blos an zwei Punkten in Berührung.

Die Libellenröhre *L* (Fig. 124) befindet sich dabei in der Regel in einem messingenen cylindrischen Rohre *R*, welches nur so weit ausgeschnitten ist, dass man die Scala und die Blase sehen kann.

Diese Messingröhre trägt bei den kleinern Libellen an ihren Enden die Füsse *M*, *M* (Fig. 124) zum Aufsetzen auf die Axe; die Lage der Libellenröhre kann in dieser Fassung mittels der Schraube *s*, *s*, deren Mitte gegenüber eine entgegenwirkende Feder im Innern der Messingröhre sich befindet, etwas geändert und so die genaue parallele Stellung mit der zu prüfenden Axe hergestellt werden.

Bei den grössern Libellen ist die Messingröhre, welche die directe Fassung derselben bildet, durch zwei Arme *m*, *m* (Fig. 125) mit einem Cylinder *C* verbunden, an dessen Enden die Haken *M*, *M* zum Anhängen an die Axe angebracht sind; die Correction der Lage der Röhre wird mittels Schrauben bei *s* in horizontaler Richtung und bei *s'* in verticaler Richtung bewerkstelligt.

170. Repsold [1]) bringt an der Messingröhre *L* (Fig. 126), in welcher sich die Glasröhre befindet, zwei Füsse *n*, *n* an, welche auf einen Cylinder *CC* aufgesetzt werden, der an seinen Enden die Füsse *M*, *M* zum Aufstellen oder Anhängen an die zu prüfende Axe trägt; an dem Cylinder *CC* sind zwei Handhaben *f*, *f* zum Dirigiren der ganzen Vorrichtung angebracht. Bei den grössern Instrumenten sind diese Handhaben mit Stricken verbunden, welche über Rollen gehen, die in der Art angebracht sind, dass der Beobachter die ganze Libelle in die Höhe ziehen und auf die Axe sanft niederlassen kann.

Bei einigen Ertel'schen Passageinstrumenten finden sich Libellen zum Aufsetzen auf die Axe von der in Fig. 127 dargestellten Form. [2]) Die Libelle *L* ist nämlich in dem halben Messingrohre *r* befestigt und dieses mittels zweier Füsse auf das Stück *ab* aufgesetzt, von dem aus die beiden schiefen Arme *c*, *c* bis zu den ganz kurzen Füssen *M*, *M* gehen, welche auf die Zapfen der Axe aufgestellt werden.

---

1) Struve, Description etc., Taf. XXX, XXXII, XXXVII. Astronomische Nachrichten, Bd. XV, Nr. 349.

2) Maury, Washington observations, Vol. I, Taf. III. Annals of the astron. observatory of Georgetown College, Nr. I, Taf. V, Fig. 4.

Bei den ältern v. Reichenbach'schen Libellen befindet sich die Glasröhre $R\,R$ (Fig. 128), ganz ähnlich wie die Zapfen der horizontalen Axen, in zwei Lagern a, b, wie dies Fig. 129 näher zeigt. Die Röhre R, R wird durch die Federn f, f in diesen Lagern festgehalten; letztere sind mit der Schiene $A\,B$ verbunden und zwar so, dass das eine derselben (a) eine Verschiebung in horizontaler Richtung mittels der Schrauben s, s, das andere (b) eine Correction im verticalen Sinne mittels der Schrauben s', s' zulässt. An den Enden der Schiene $A\,B$ sind dann noch die beiden Haken M, M zum Anhängen an die Zapfen der zu prüfenden Axe befestigt.

2. Libellen zum Auflegen auf eine Ebene.

171. Bei den Instrumenten, mit welchen Azimute gemessen werden sollen, und hierher gehören die meisten transportablen Instrumente, ist es erforderlich, den Azimutalkreis genau horizontal stellen zu können. Man bewerkstelligt dies durch Aufsetzen einer Libelle der zweiten Klasse auf die Kreisebene und dadurch, dass man die Fussschrauben des Instruments so lange ändert, bis die Blase während einer vollständigen Umdrehung der verticalen Axe die Mitte der Röhre nicht mehr verlässt. Da diese Libellen nicht mit einer bestimmten Linie in der Kreisebene, wohl aber mit dieser selbst parallel sein müssen, so ist hier bei der Fassung blos eine Correction in verticalem Sinne zur genauen Herstellung dieses Parallelismus erforderlich.

172. Eine sehr einfache Libelle dieser Art stellt Fig. 132 dar.[1]) Die Glasröhre befindet sich in einer cylindrischen Messingröhre F, welche so weit ausgeschnitten ist, dass man Scala und Blase sehen kann. Am einen Ende trägt diese Fassung den Fuss p, am andern Ende eine Mutter q für die Stellschraube $s\,s$, welche den andern Fuss der Libelle bildet und zugleich die oben angeführte Correction ermöglicht. Die Mutter q besteht aus zwei Theilen, welche durch die Schraube k zusammengehalten werden; es kann hierdurch die Bewegung der Schraube $s\,s$ in der Mutter regulirt werden.

173. Lamont hat bei seinem magnetischen Theodoliten die Libellenröhre R (Fig. 130) auf zwei halbkreisförmige Lager l, l' aufgebunden, welche auf einer ebenen Messingschiene $a\,b$ befestigt sind. Diese Schiene ist an ihrem einen Ende a, wo sie einen kleinen Ansatz r hat, auf einer zweiten messingenen Schiene $m\,n$ aufgeschraubt; durch das andere Ende geht die Stellschraube s, mittels welcher, da zwischen $a\,b$ und $m\,n$ die aufwärts drückende Feder f angebracht ist, die Stellung der Röhre R corrigirt werden kann. Die Schiene $m\,n$ trägt zwei kurze Füsse, welche auf der zu bestimmenden Ebene aufliegen.

---

1) Bauernfeind, a. a. O., Bd. I, S. 55.

Um dabei genau die Grösse zu kennen, um welche die Lage der Röhre geändert wurde, hat Lamont [1]) die Stellschraube S (Fig. 131) noch in anderer Weise eingerichtet. Er gab nämlich derselben einen am Rande eingetheilten Kopf K und liess sie durch einen mit $m\,n$ verbundenen Rahmen v hindurch gegen $a\,b$ wirken. Die genaue Ablesung von ganzen Umgängen der Schraube und deren Unterabtheilungen wird durch einen vom Schraubenkopfe K unabhängig angebrachten Zeiger z ermöglicht. Die ganze Libelle wird mittels der drei Spitzen p, q, r auf die Ebene aufgesetzt, deren Horizontalität untersucht werden soll.

3. Fest angebrachte Libellen.

174. Die Libellen, welche zu dieser Klasse gehören, dienen dazu, sich von dem unveränderten Stande eines bestimmten Theils an einem Instrumente zu überzeugen. Man verbindet deshalb die Libelle fest mit dem betreffenden Theile und zwar so, dass sich die Blase genau in der Mitte einstellt. Geht nun eine Aenderung vor sich, so wird diese durch den Ausschlag der Blase sogleich und zwar ihrer Grösse nach angegeben.

Einen hierher gehörigen Fall haben wir bereits in Abschnitt II, § 70 kennen gelernt, wo an den Träger für die Mikroskope, welche zur Ablesung verticaler Kreise dienen, Libellen (L und L' in Fig. 40) angebracht wurden, um allenfallsige Aenderungen in der Stellung dieser Mikroskope erkennen und ihrer Grösse nach bestimmen zu können.

Es ist übrigens schon mit den Alhidadenkreisen der v. Reichenbach'schen Meridiankreise eine Libelle zu dem genannten Zwecke verbunden. Die Libellenröhre ist dabei wieder in einen messingenen Hohlcylinder L (Fig. 133) gebracht, welcher auf einer Unterlage $m\,n$ befestigt ist; diese Unterlage hat zwei Arme a, a, die an die Speichen s, s des Alhidadenkreises fest angeschraubt sind. Um dabei die Blase genau in die Mitte der Röhre bringen zu können, sind die Arme a, a da, wo die Schrauben hindurchgehen, geschlitzt und erlauben so eine Correction. Eine geringe Aenderung kann der Röhre auch in ihrer Fassung durch die bereits oben (§ 169) angeführte Einrichtung gegeben werden.

IV. Ueber einige bei den Libellen zu beachtende Umstände.

175. Für die im Vorigen beschriebenen Arten von Libellenfassungen, welche sich noch bedeutend vermehren liessen, sollten alle mehr oder

1) Lamont, Beschreibung der an der münchner Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, S. 95, Taf. XV, Fig. 63.

weniger unwesentlichen Einrichtungen angeführt werden, ist zu bemerken, dass die Constanten für den Winkelwerth der Scalentheile mittels der Niveaumaschine erst dann bestimmt werden sollen, wenn die Libelle bereits in ihrer Fassung eingeschlossen und mit einer Scala versehen ist. Die Erfahrung hat nämlich in dieser Beziehung folgende Punkte ergeben:

1) Wenn man die Constanten bestimmt, bevor man die Libelle in ihre Fassung bringt, und dann auch, nachdem dies geschehen ist, so sind dieselben in beiden Fällen verschieden.

2) Die Constanten ändern sich je nach der Art und Weise, wie die Libelle in ihrer Fassung befestigt wird. Sie sind andere, wenn man die Glasröhre in ein Messingrohr einschliesst; sie sind andere, wenn man dieselbe auf die v. Reichenbach'sche Art in zwei Lagern befestigt; sie sind andere, wenn man sie auf die Lager oder irgend eine andere Unterlage aufbindet u. s. w.

3) Die Constanten sind veränderlich, je nachdem man die Scala auf dem Glase selbst aufträgt oder in anderer Weise anbringt, wenn man z. B. eine Papierscala aufklebt.

176. Wenn man eine Libelle, deren Blase in der Mitte der Röhre einspielt, am einen Ende anhaucht oder auf irgend eine andere Weise einseitig erwärmt, so geht die Blase von der Mitte hinweg dem wärmern Ende zu und kehrt erst, nachdem die Temperaturdifferenz wieder vollständig ausgeglichen ist, zu ihrem frühern Stande zurück.

Dieser Umstand beeinträchtigt in den meisten Fällen die Zuverlässigkeit der Angaben der Libellen und kann sogar unter manchen Verhältnissen, besonders wenn man mit transportablen Instrumenten im Freien zu arbeiten hat, sehr beträchtlich und hinderlich werden.

Man hat verschiedene Erklärungen für diesen Einfluss der Wärme aufzustellen versucht und denselben früher namentlich der Ausdehnung des Glases oder der zur Füllung dienenden Flüssigkeit zugeschrieben; allein die richtigste Erklärung wird nach den bisherigen Untersuchungen [1]), welche übrigens nicht als abgeschlossen zu betrachten sind, wohl diejenige sein, nach welcher die angeführte Ortsveränderung der Blase in der durch die Wärmedifferenz bedingten Veränderung der Capillarattraction zwischen dem Glase und der Flüssigkeit ihren Grund hat. Daraus wird dann folgen, dass die Zuverlässigkeit der Libellen von der Beschaffenheit der innern Wand der Glasröhre, von der Beschaffenheit des Glases selbst und vielen andern zur Zeit noch nicht hinlänglich untersuchten Verhältnissen abhängig ist.

---

1) Vgl. Liagre, Sur les oscillations du niveau à bulle d'air: Bulletins de l'Académie de Bruxelles, 1844, Tome XI, Partie II, S. 274 ff. Peltier, Sur la cause des oscillations du niveau à bulle d'air: Grunert's Archiv, 1846, Bd. VII, S. 1 ff. Lamont, Jahresbericht für 1852, S. 24 ff.

Man hat auch in der Praxis eine einseitige Erwärmung der Libellen dadurch zu verhindern gesucht, dass man die gefasste Röhre L (Fig. 126) in einen zweiten Verschluss AB brachte, welcher über der Scala ein Planglas pp trägt.

V. Das Loth.

177. Um sich bezüglich des unveränderlichen Standes eines Instruments oder vielmehr eines bestimmten Theils desselben zu versichern, wurde anstatt der Libelle auch das Loth [1]) angewendet.

Dieser Vorrichtung liegt der Lehrsatz aus der Physik zu Grunde, dass alle freien Körper stets in einer Richtung gegen die Erde fallen, welche in der Verlängerung des Erdradius liegt, also senkrecht auf der Ebene des Horizonts steht.

Das Loth besteht demnach aus einem Gewichte G (Fig. 134), welches mittels eines biegsamen langen Fadens ab an dem betreffenden Instrumententheile, z. B. einem verticalen Kreise, angehängt wird; an der untern Fläche des Gewichts G befindet sich eine Marke, welche bei einer bestimmten Lage des Instruments mit einem fixen, gleichfalls markirten Punkte zusammenfällt. Aendert nun der Punkt a, wo der Faden befestigt ist, seine Stelle, so verlässt auch die Marke am Gewichte ihre bisherige Lage, und diese Ortsveränderung gibt also die Aenderung am Instrumente zu erkennen.

Da der Faden ab durch das Gewicht G beständig in verticaler Richtung gespannt wird, so ist klar, dass das Loth auch zur Bestimmung und Prüfung einer Verticalebene benutzt werden kann.

178. Die Marke von der untern Fläche des Gewichts G bildet am geeignetsten ein Kreuz, wie dies Fig. 134 a zeigt; damit dann dasselbe bequem und sicher beobachtet werden kann, bringt man unter dem Gewichte ein rechtwinkliges, gleichschenkliges Glasprisma P oder auch einen unter 45° geneigten Planspiegel und ein Mikroskop M an.

Als ein Hauptübelstand bei der Anwendung des Lothes sind die beständigen Bewegungen der Luft zu bezeichnen, welche in doppelter Weise störend auf die Ablesung der Stellung der Marke einwirken können, indem sie theils eine schwingende, theils eine drehende Bewegung des Gewichts G zur Folge haben können. Man hat diese immerwährenden Oscillationen dadurch zu vermindern gesucht, dass man das Gewicht in eine Flüssigkeit, z. B. Oel oder Wasser, brachte; jedenfalls sind dieselben die Ursache, dass das Loth gegenwärtig fast gänzlich ausser Gebrauch gekommen ist.

---

1) S. darüber Delambre, Astronomie théorique et pratique, Thl. I, Kap. VI.

VI. Donkin's Libelle.

179. Es ist noch eine sehr sinnreiche Einrichtung wenigstens dem Principe nach anzuführen, durch welche Donkin die Libellen zu ersetzen suchte [1]), wenngleich dieselbe nicht in allgemeinern Gebrauch gekommen ist.

Diese Vorrichtung, welche Donkin selbst Spring Level nannte, besteht im Wesentlichen aus einer feinen, elastischen Lamelle $a\,b$ (Fig. 135) von Stahl, welche an ihrem untern Ende festgeklemmt ist, an ihrem obern Ende dagegen ein kleines Gewicht g trägt. Die ganze Einrichtung wird mit einer Unterlage, z. B. einer Axe, deren Horizontalität untersucht werden soll, so in Verbindung gebracht, dass der untere befestigte Theil der Stahlfeder $a\,b$ genau senkrecht gegen die Axe steht. Ist nun die Axe vollkommen horizontal, so wird auch der obere freie Theil der Stahllamelle senkrecht stehen; ist dagegen die Axe geneigt, so wird das Gewicht g diesen freien Theil auf diejenige Seite ziehen, an welcher die Axe tiefer liegt, und zwar sollte dabei der Ausschlag des Gewichts bei vollkommener Elasticität des Stahls der Neigung genau proportional sein. Allein dieses Verhältniss findet in der Wirklichkeit nur innerhalb bestimmter und zwar sehr enger Grenzen statt, über welche hinaus erhebliche Unregelmässigkeiten eintreten; hierin liegt denn auch der Grund, dass die theoretisch sonst ganz richtige Idee keine weitere Anwendung gefunden hat.

---

1) Donkin, Description of a spring level: Memoirs of the Royal Astronomical Society, X, 319 ff.

Siebenter Abschnitt.

Von den Mikrometern, welche zur relativen Ortsbestimmung dienen.

---

180. Es ist bekanntlich nicht möglich, alle Objecte des gestirnten Himmels im Meridiane zu beobachten; man sieht sich in solchen Fällen dann genöthigt, zur relativen Ortsbestimmung seine Zuflucht zu nehmen. Zu diesem Zwecke nun werden mit den parallaktisch aufgestellten Instrumenten eigene Vorrichtungen verbunden, nämlich die Mikrometer im engern Sinne.

Die erste Erfindung der Mikrometer wurde lange Zeit hindurch dem Holländer Huyghens zugeschrieben; die neuern historischen Untersuchungen, bezüglich welcher ich namentlich auf den schönen Aufsatz in Littrow's Kalender für 1859 verweisen muss, haben jedoch dahin entschieden, dass die Ehre dieser Erfindung (ungefähr um das Jahr 1640) dem Engländer Gascoigne, welcher, wie wir in § 81 gesehen haben, auch das Fernrohr überhaupt zuerst mit der Alhidade der astronomischen Winkelmessinstrumente in Verbindung brachte, zuerkannt werden muss. So viel scheint aber andererseits gewiss, dass Huyghens sein in seinem Systema Saturnium, welches im Jahre 1659 erschien, beschriebenes Mikrometer, ohne von Gascoigne's Einrichtungen Kenntniss zu haben, erfunden hat.

181. Seit dieser Zeit nun ist eine ungemein grosse Anzahl von eigenthümlichen mikrometrischen Einrichtungen vorgeschlagen und auch ausgeführt worden, deren vollständige Aufzählung und Beschreibung ein eigenes Werk bilden könnte. Ein grosser Theil derselben sind jedoch mehr oder weniger unwesentliche Abänderungen einer und derselben Idee, ein anderer Theil musste wegen der sich in der Praxis bietenden Schwierig-

keiten wieder aufgegeben werden; bei einer weitern, nicht unbeträchtlichen Anzahl von Mikrometern ist es sogar beim blossen Vorschlage geblieben. Im folgenden Abschnitte sollen deshalb blos die wichtigern Mikrometereinrichtungen behandelt und dabei wieder hauptsächlich auf diejenigen besondere Rücksicht genommen werden, mittels welcher wirkliche Resultate für die Wissenschaft erhalten worden sind.

Man kann die sämmtlichen Mikrometer in die folgenden drei Klassen bringen:

1) Mikrometer, bei welchen sich die Messvorrichtung im Focus des Fernrohrs befindet;
2) Mikrometer, bei welchen blos ein Bild der Messvorrichtung im Focus des Fernrohrs erzeugt wird, und
3) Mikrometer, mittels welcher zwei Bilder der zu beobachtenden Objecte erzeugt werden; es sind dies die sogenannten Doppelbildmikrometer.

I. Mikrometer, bei welchen sich die Messvorrichtung im Focus des Fernrohrs befindet.

1. Einfache Lamellen.

182. Ich beginne diese Klasse mit dem Huyghens'schen Mikrometer, wiewohl dasselbe zur Zeit blos noch eine historische Bedeutung hat.

Um nämlich kleine Distanzen am Himmel und zwar namentlich die Durchmesser der Planeten zu messen, brachte Huyghens [1]) eine scharf zugeschnittene Messinglamelle mit zusammengehenden Seiten (Fig. 142) durch einen Einschnitt im Rohre in den gemeinschaftlichen Focus des Objectivs und Oculars seines Fernrohrs. Diese Lamelle verschob er so lange, bis sie die Endpunkte der zu messenden Distanz gerade deckte; sodann mass er mit einem feinen Zirkel die entsprechende Breite des Messingplättchens und fand unter Zuziehung der Focallänge seines Fernrohrs die verlangte Winkeldistanz der gemessenen Objecte. Dass mit dieser Methode nach dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft nur ganz rohe Resultate erhalten werden können, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

183. Dagegen lässt sich das erst in neuerer Zeit von Boguslawski [2]) angegebene Differentialmikrometer in manchen Fällen mit Erfolg anwenden.

Dieses Mikrometer besteht aus einer einfachen Lamelle mit parallelen

---

1) Christiani Hugenii Opera ed. s'Gravesande, Thl. III: Systema Saturnium, S. 593.

2) Boguslawski, On the use of a new micrometer etc.: Memoirs of the Royal Astronomical Society, XV, 193.

Seiten (Fig. 141), welche in den Focus des Fernrohrs und zwar als ein Durchmesser des kreisförmigen Gesichtsfeldes gebracht wird, sodass man sie dabei um das Centrum desselben drehen und also einen jeden beliebigen Winkel mit einem Declinationskreise bilden kann. Anstatt der Lamelle kann man auch einen einfachen Draht oder Faden im Gesichtsfelde aufspannen.

Die Differenzen in der geraden Aufsteigung und Declination eines bekannten und eines unbekannten Sterns werden bei diesem Mikrometer aus den beobachteten Durchgangszeiten über die Lamelle abgeleitet.

2. Geradlinige Figuren.

184. Es wurden ferner die verschiedenartigsten geradlinigen Figuren als Mikrometer gebraucht. Hier ist vor allem das sogenannte Netz von 45° zu erwähnen [1]), bei welchem vier Fäden als Durchmesser im kreisförmigen Gesichtsfelde so aufgezogen waren, dass sie Winkel von 45° mit einander bildeten (Fig. 144).

An die Stelle dieses Mikrometers hat Bradley das nach ihm benannte Rautennetz gesetzt [2]), bei welchem in den Focus des Fernrohrs ein Rhombus gebracht wird, dessen kleinere Diagonale die Hälfte der grössern ist; die kleinere Diagonale wird dabei der täglichen Bewegung der Sterne parallel gestellt.

Dieser Rhombus wurde ursprünglich aus Fäden oder feinen Drähten gebildet, später jedoch aus einer Messingplatte ausgeschnitten. [3]) Lacaille hat mit einem solchen Mikrometer die Positionen von 9766 Sternen am Cap der guten Hoffnung so gut beobachtet, dass es die Britische Association vor mehreren Jahren als der Mühe werth erachtete, diesen Sternkatalog neu herauszugeben. [4])

Bei der letztern Einrichtung tritt jedoch der Uebelstand ein, dass man die Stelle nicht weiss, wo der Stern in den Rhombus hereinkommt; Köhler [5]) hat deshalb diesen Rhombus aus Blech so ausgeschnitten, als wäre er von vier Lamellen mit parallelen Seiten gebildet, wie dies Fig. 140 zeigt.

Auch gleichschenklige Dreiecke wurden angewendet, welche entweder aus Blech ausgeschnitten (Fig. 143) oder aus Fäden gebildet waren. [6])

---

1) Lalande, Astronomie (3. Aufl.), II, 598.

2) Lalande, a. a. O., S. 599.

3) Lacaille, Coelum australe stilliferum, S. VIII.

4) A catalogue of 9766 stars in the Southern Hemisphere from the observations of the Abbé de Lacaille.

5) v. Zach, Allgemeine geographische Ephemeriden, Bd. III, S. 318.

6) Kästner, Astronomische Abhandlungen, zweite Samml., S. 296. Pickel, De micrometris, quae filis constant in angulum coëuntibus dissertatio (Dillingen 1772).

Burkhardt [1]) hat ferner quadratische Diaphragmen in Vorschlag gebracht (Fig. 146).

Eine mikrometrische Einrichtung, welche, wenn sie an parallaktischen Instrumenten angebracht würde, ebenfalls hierher gehörte, ist die bereits in § 110 angegebene, von Repsold verfertigte Vorrichtung (Fig. 77), mit welcher Klinkerfues am Meridiankreise der göttinger Sternwarte die kleinen Planeten beobachtet.

3. Kreismikrometer.

185. Die ersten Kreismikrometer waren zugleich auch die einfachsten. Es war nämlich (Fig. 136) aus einer dünnen Blechscheibe ein kreisförmiges Stück herausgenommen, der innere Rand vollkommen kreisrund ausgedreht und dann dieser Ring in den Focus des Fernrohrs gebracht worden; sogar das durch das Fernrohr selbst gegebene kreisrunde Gesichtsfeld wurde zu Beobachtungen benutzt. [2])

Ein Hauptübelstand dieser Mikrometer besteht darin, dass man den Ort nicht vorher weiss, an welchem der zu beobachtende Stern erscheint, und also der Eintritt desselben weit weniger genau beobachtet werden kann als sein Austritt.

Köhler [3]) hat, um diesem Uebelstande abzuhelfen, einen schmalen Ring (Fig. 137) an zwei Punkten im Gesichtsfelde des Fernrohrs befestigt, allein diese Einrichtung bewährte sich nicht für die Praxis.

In anderer Weise dagegen hat Fraunhofer [4]) den genannten Uebelstand beseitigt. Er bohrte nämlich in ein Planglas ein kreisförmiges Loch und brachte an die Stelle des herausgenommenen Glasstücks einen schmalen stählernen Ring (Fig. 138), welchen er durch Umlegen eines vorstehenden Randes mittels des Polirstahls an dem Glase befestigte und dessen innerer Rand genau kreisrund ausgeschliffen wurde.

186. Die Kreismikrometer haben den grossen Vortheil, dass sie keine Beleuchtung bedürfen; die mit ihnen angestellten Beobachtungen erlangen dagegen auch nicht die grösstmögliche Genauigkeit. Bei kleinern Fernrohren, welche keinen vollkommen festen Standpunkt haben, sind dieselben übrigens stets mit Erfolg anzuwenden, besonders wenn es sich um die Anstellung von Beobachtungen handelt, bei welchen der Natur der Sache nach

---

1) Burkhardt, Ueber den Gebrauch eines vollkommenen Vierecks statt des Bradley'schen Rhomboidalnetzes: Monatliche Correspondenz, herausgegeben von v. Zach, I, 120 ff.

2) Koch, Gebrauch des leeren Kreises als Mikrometer: Bode, Astronomisches Jahrbuch für 1793, S. 188.

3) v. Zach, Allgemeine geographische Ephemeriden, III, 318.

4) Fraunhofer, Beschreibung eines neuen Mikrometers: Astronomische Nachrichten, Bd. II, Nr. 43.

nicht der höchste Grad von Genauigkeit gefordert werden kann, oder wenn lichtschwache Objecte beobachtet werden sollen. Für Kometenbeobachtungen werden deshalb auch diese Mikrometer stets von Wichtigkeit bleiben.

4. Glasmikrometer.

187. Zahn [1]) hat schon im Jahre 1685 vorgeschlagen, ein auf Glas befindliches Gitter in den Focus eines Fernrohrs zu bringen, um damit genauere Zeichnungen der Mondlandschaften herzustellen; allein erst Tobias Mayer [2]) hat solche Gitter wirklich ausgeführt und als Mikrometer gebraucht.

Mayer hat die Scala dadurch hergestellt, dass er das Glas mit Tusch überzog, dann trocknen liess und zuletzt mit einer feinen Spitze den Tusch so wegnahm, dass die parallelen Linien stehen blieben. Später hat Brander in Augsburg Theilungen auf Glas zu Mikrometern durch Einreissen mittels Diamants in grosser Vollkommenheit ausgeführt. [3])

Cavallo hat anstatt des Glases Perlmutterstreifen, auf welchen eine feine Theilung aufgetragen war, in den Focus des Fernrohrs gebracht. [4])

Alle diese Mikrometer haben sich jedoch nicht in längerem Gebrauche erhalten und ebenso wenig auch die von Fraunhofer hergestellten Glasmikrometer. Fraunhofer [5]) ätzte nämlich, nachdem er sich durch Versuche überzeugt hatte, dass die mittels Diamants auf Glas eingerissenen Linien das von der Beleuchtungslampe auf sie fallende Licht nur einseitig reflectiren, in ein Planglas mit flussspathsauren Dämpfen ganz feine Kreislinien (Fig. 139) ein und beleuchtete diese Linien mittels der in § 105 bereits beschriebenen Lampen. Auch geradlinige Gitter (Fig. 145) hat Fraunhofer auf solche Weise verfertigt. Diese Linien reflectiren zwar von allen Punkten das auf sie fallende Licht, allein es tritt dabei der Uebelstand ein, dass die Beleuchtung, welche nöthig ist, um die Linien überhaupt deutlich zu sehen, für die kleinern Sterne schon zu stark wird, sodass dieselben dann verschwinden; mit einem fünffüssigen Fernrohre z. B. kann man die Sterne blos bis zur vierten Grösse herab beobachten.

---

1) Zahn, Oculus artificialis teledioptricus, Fundament. III, Syntagma IV, cap. 2, § 1.

2) Tob. Mayer, Kosmographische Nachrichten und Sammlungen (1750). Kästner, Astronomische Abhandlungen, zweite Samml., S. 273.

3) Brander, Polymetroscopium dioptricum (Augsburg 1764). Lambert, Anmerkungen über die Brander'schen Mikrometer von Glas und deren Gebrauch (Augsburg 1769).

4) Cavallo, Description of a simple micrometer for measuring small angles with the telescope: Philos. Trans., 1791, S. 283; Description and use of the telescopial mother-of-pearl micrometer (London 1793).

5) Fraunhofer, a. a. O.

5. Kirch's Schraubenmikrometer.

188. Ehe wir nun zu den Filarschraubenmikrometern übergehen, soll zuvor noch das Kirch'sche Mikrometer behandelt werden [1]), welches in Deutschland längere Zeit hindurch in Gebrauch war; da dasselbe jedoch gegenwärtig von keiner weitern Bedeutung mehr ist, so will ich nur ganz kurz das Wesen desselben anführen.

Durch einen Ring RR (Fig. 149) gehen die beiden Schrauben s, s hindurch, welche genau gleich lange Gänge haben. Bringt man diese Vorrichtung in den Focus eines Fernrohrs, sodass die Schrauben auf beiden Seiten hervorstehen, so kann man die Distanz zweier Sterne dadurch messen, dass man die Schrauben so weit dreht, bis ihre Enden die beiden Sterne gerade berühren, und dann die Anzahl von Umgängen, deren Länge ebenfalls bekannt sein muss, bestimmt, welche nöthig ist, um die beiden Schrauben von der genannten Stellung an bis zur Berührung ihrer Enden zu drehen.

6. Filarschraubenmikrometer.

189. Bringt man ein Fadennetz, wie wir es in Nr. III des Abschnitts III kennen gelernt haben, in den gemeinschaftlichen Brennpunkt des Oculars und Objectivs eines parallaktisch aufgestellten Fernrohrs in der Art, dass die beim Meridianinstrumente vertical stehenden Fäden jetzt Stundenkreise bilden, so gibt das Zeitintervall, welches verfliesst, während zwei Sterne — ein bekannter und ein unbekannter — einen dieser Fäden passiren, unmittelbar die Rectascensionsdifferenz ihrer Oerter an. Senkrecht auf diesen Fäden, also in der Richtung der täglichen Bewegung der Sterne, steht dann ein anderer fester Faden (oder auch zwei). Bringt man nun ausser diesem Faden einen zweiten, ihm parallelen und mittels einer Schraube beweglichen Faden an, so kann man hiermit auch die Declinationsdifferenz der beiden Sterne bestimmen und hat dann ein Filarschraubenmikrometer.

190. Die Erfindung dieser Mikrometer ist schon sehr alt und rührt entweder von Römer [2]) oder von Auzout und Picard [3]) her; sie haben sich übrigens bis in unsere Zeit herauf im Gebrauche erhalten, und Fig. 147 stellt eine solche Vorrichtung dar, wie sie an den neuern Aequatorealen angebracht wurde. Alle Fäden mit Ausnahme von ff sind an dem untern Theile des Rahmens AA befestigt, durch welchen der bewegliche Schieber

---

1) Kirch's Kalender, 1696. Kästner, Astronomische Abhandlungen, zweite Sammlung, S. 309 ff.

2) Horrebow, Basis astronomiae Roemeri, S. 114.

3) Auzout, Traité du micromètre, ou manière exacte pour prendre le diamètre des planètes et la distance entre les petits étoiles (Paris 1667).

S S S S hindurchgeht, an dem eben dieser Faden *f f* festgemacht ist. Die Bewegung des Schiebers wird mittels der Schraube *V V* ganz auf dieselbe Art bewerkstelligt, wie wir sie früher (Abschnitt II, § 57 ff.) beim mikrometrischen Mikroskope kennen gelernt haben, sodass die Figur in dieser Beziehung keiner weitern Erläuterung bedarf. Ueber die Fäden, die dazu verwendete Substanz und ihre Befestigung ist ebenfalls bereits in Abschnitt III das Nähere abgehandelt worden; hinsichtlich der Einrichtung des beweglichen Fadens ist dagegen noch Einiges beizufügen.

191. Der Schieber *S S* nämlich, welcher diesen Faden trägt, bewegt sich auf der Platte des Rahmens *A A*, auf der die andern — festen — Fäden aufgespannt sind. Sowol diese festen Fäden als der bewegliche sind in Einschnitte gelegt, welche mittels des Linienreissers einer Theilmaschine auf der Fadenplatte und dem Schieber eingerissen sind, und zwar in der Art, dass der bewegliche Faden sich über den festen bewegt, d. h. dass diejenigen Seiten der Platte und des Schiebers, auf welchen sich die Einschnitte für die Fäden befinden, über einander zu liegen kommen.

192. Die Schraube *V V*, welche den beweglichen Faden fortführt, muss lauter gleich grosse Umgänge haben, welche wieder alle und zwar in allen ihren Theilen die gleiche Neigung besitzen; sie muss eine wirkliche Mikrometerschraube sein.

Man überzeugt sich von der Richtigkeit des erstern Punktes, wie bereits bei einer frühern Gelegenheit erwähnt worden ist, dadurch, dass man die nämliche Distanz an verschiedenen Theilen der Schraube misst; hinsichtlich des zweiten Punktes wird die Schraube dadurch geprüft, dass man eine ganz kleine Länge, welche nur einen Bruchtheil der Länge eines Schraubenumgangs beträgt, wieder an verschiedenen Theilen der einzelnen Umgänge der Schraube bestimmt, wo dann bei einer guten Schraube stets die gleiche Zahl herauskommen muss.

Zum letztern Zwecke schon, sowie überhaupt, um bei jeder Beobachtung noch Bruchtheile eines Umgangs der Schraube mit Sicherheit angeben zu können, ist die Schraube mit einer eingetheilten Trommel *T* (vgl. § 59) versehen. Der todte Gang der Schraube (§ 58), welcher auch hier nicht vollständig aufgehoben wird, ist bei den Messungen dadurch zu umgehen, dass man jede Einstellung blos durch Vorwärtsbewegen der Schraube vornimmt.

193. Mit einem solchen Filarschraubenmikrometer wird, wie oben bereits angeführt, die Rectascensionsdifferenz zwischen den Oertern eines unbekannten und eines bekannten Sterns durch das Zeitintervall gemessen, welches zwischen den Durchgängen der beiden Sterne über einen Faden verfliesst, welcher senkrecht gegen die Richtung ihrer täglichen Bewegung steht. Liegen die beiden Sterne sehr nahe bei einander, sind sie z. B. Doppelsterne, so ist klar, dass das oben bezeichnete Zeitintervall auch sehr klein werden muss. Nun ist es aber an und für sich sehr schwer, Zeit-

intervalle, welche unter einer Secunde liegen, bis auf einen verschwindenden Bruchtheil genau anzugeben; es ist ferner zu bemerken, dass, wenn man dieses Zeitintervall in Winkelmass verwandelt, natürlich auch der Beobachtungsfehler fünfzehnmal genommen wird. Um nun diesem Uebelstande zu entgehen, d. h. um die Beobachtung unabhängig von der Zeit anstellen zu können, hat man ein Mikrometer erfunden, bei welchem der relative Ort des unbekannten Sterns durch seine geradlinige Distanz von dem bekannten Sterne und den sogenannten Positionswinkel, d. h. denjenigen Winkel bestimmt wird, welcher die Verbindungslinie der beiden Sterne mit der Richtung des Declinations- oder Parallelkreises des bekannten Sterns einschliesst. Man nennt ein solches Mikrometer ein Positionsmikrometer.

7. Positionsmikrometer.

194. Das dieser Art von Mikrometern zu Grunde liegende Princip lässt sich einfach vermittelst der Fig. 148 erklären. Es seien AB und CD zwei auf einander senkrecht stehende Fäden, ab ein dritter, parallel mit AB beweglicher Faden; die ganze Vorrichtung ist um den Mittelpunkt O drehbar, die Grösse der Drehung kann an einem getheilten Kreise abgelesen werden. Lässt man nun den einen der beiden zu vergleichenden Sterne mit dem Mittelpunkte O coincidiren und dreht den Faden so lange, bis er zugleich auch den andern Stern bei s deckt, so ist, wenn bei der anfänglichen Lage des Mikrometers der Faden AB mit der Richtung der täglichen Bewegung zusammenfiel, durch die Grösse der Drehung der Positionswinkel gegeben; die Distanz wird mittels des beweglichen Fadens in Schraubenumgängen bestimmt und dann in Winkelmass verwandelt.

Das Fraunhofer'sche Filarmikrometer.

195. Schon Will. Herschel hatte sich bei seinen Beobachtungen vielfach des Positionsmikrometers bedient, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass von ihm auch die demselben zu Grunde liegende Idee herrührt; allein erst durch Fraunhofer's Einrichtung wurde diesem Mikrometer der höchste Grad von Vollendung und Genauigkeit gegeben.

Ein Fraunhofer'sches Filarmikrometer ist in Fig. 152 und 153 von zwei verschiedenen Seiten aus betrachtet dargestellt. Die erste Figur gibt nämlich eine Ansicht desselben, wie sie der Beobachter vor sich hat, wenn er durch das Ocular O' in das Fernrohr hineinsieht; die zweite Figur gibt eine darauf senkrecht stehende Ansicht.

Der ganze Apparat kann in drei Haupttheile zerlegt werden: die Schiebereinrichtung, den Positionskreis und die Beleuchtungsvorrrichtung.

196. Die ganze Schiebervorrichtung besteht im Wesentlichen aus zwei über einander befindlichen Schiebern CC und D, welche in dem Rahmen AB

beweglich sind; jeder dieser Schieber trägt einen Faden, die beiden Fäden sind zu einander parallel. Der darauf senkrecht stehende dritte Faden, von dem in § 194 die Rede war, ist hier weggelassen und in der That überflüssig, weil es nur nöthig ist, die ihm entsprechenden Punkte am Positionskreise zu kennen. Der Grund, warum die beiden Fäden beweglich eingerichtet sind, besteht darin, dass dann die Messungen der Distanzen über das ganze Gesichtsfeld hinweg vervielfältigt werden können.

197. Der Hauptschieber $C\,C$ ist in dem Rahmen $A\,B$ beweglich und zwar wieder ganz auf gleiche Weise wie der Schieber am mikrometrischen Mikroskope. Die Bewegung geschieht nämlich mittels einer feinen, in der mit dem Rahmen $A\,B$ fest verbundenen Mutter E beweglichen Mikrometerschraube F, welche an ihrem einen Ende sphärisch abgerundet ist, am andern Ende eine eingetheilte Trommel G und einen randrirten Kopf H trägt.

Damit die Schraube F, auch wenn sie rückwärts gedreht wird, den Schieber wieder mit zurücknehmen kann, ist ein Steg $q\,q$ (Fig. 152) angebracht, an welchen sich eine ringförmige Erhöhung $c\,c$ (Fig. 153) der Schraube anlegt; es ist so klar, dass ein todter Gang der Schraube statthaben wird und demnach die Einstellungen blos durch Vorwärtsdrehen derselben bewerkstelligt werden dürfen. An dem Schieber ist ferner bei p ein Index angebracht, welcher die ganzen Umdrehungen der Schraube an einer Scala $O\,P$ anzeigt, die an dem Rahmen $A\,B$ befestigt und so getheilt ist, dass ein Intervall derselben der Länge eines Schraubengangs gleichkommt. Die Bruchtheile eines Umgangs werden durch den Index i an der Trommel G angegeben; damit dabei der Nullpunkt dieser Trommel, welche in 100 Intervalle getheilt ist, genau mit dem Anfangspunkte der Scala in Uebereinstimmung gebracht werden kann, ist die erstere auf einem konischen Zapfen drehbar. Die Schraube hat überhaupt wieder ganz die in § 60 beschriebene Einrichtung.

Der Schieber selbst läuft — wie dies Fig. 154 zeigt, welche einen Durchschnitt der Schiebervorrichtung senkrecht auf die Länge der Schraube F gibt — an seinen beiden Seiten schräg ab, damit derselbe nicht aus dem Rahmen herausfallen kann; um hierbei eine ganz genaue und gleichförmige Bewegung zu erhalten, sind die beiden Seiten des Schiebers gegen die sie führenden Stücke des Rahmens abgeschliffen.

198. Der zweite Schieber $D\,D$, welcher passend der Repetitionsschieber genannt werden kann, trägt am einen Ende eine Führung h (Fig. 153) für den Hals der Schraube Z, welche ihre Mutter im untern Theile des Rahmens $A\,B$ hat. Der Hals J dieser Schraube kann zwar in der Führung h gedreht werden, eine Bewegung nach vorwärts oder rückwärts ist dagegen in dieser Führung nicht möglich. Wird demnach der Kopf der Schraube gedreht, so wird diese in den festen Rahmen hinein- oder herausgeschraubt, und hierdurch muss der Schieber je nach der Drehung vorwärts

oder rückwärts mit bewegt werden. Auch dieser Schieber läuft an seinen beiden Seiten schräg ab (Fig. 154).

199. Jeder der beiden so eben beschriebenen Schieber trägt, wie bereits oben in § 196 angeführt wurde, einen Faden; man muss hierzu möglichst feine Spinnenfäden auswählen. Diese Fäden sind in Einschnitten befestigt, welche auf den sich berührenden Seiten der Schieber in das Metall eingerissen sind, sodass die Fäden über einander zu liegen kommen (vgl. § 191).

Damit die Fäden auch eine genau parallele Lage erhalten können, was man an der vollständigen Coincidenz derselben erkennt, ist die folgende Einrichtung getroffen. In dem Repetitionsschieber $S\,S$ (Fig. 156) ist nämlich ein ringförmiger Rahmen $r\,r$ eingesetzt, welcher den Faden f trägt. Der Schieber selbst hat seitlich einen Ansatz U, welcher durch eine Oeffnung aus dem Rahmen $A\,B$, wie Fig. 152 zeigt, herausragt; durch das Ende dieses Ansatzes geht eine Schraube s (Fig. 156) hindurch. Auch der ringförmige Rahmen $r\,r$ trägt einen Arm A (Fig. 157), welcher unter dem Ansatze U herausgeht und an seinem Ende ein viereckiges Loch hat, in das die in U befestigte Schraube s hineinragt. Gegen diese Schraube s wirken zwei andere Schräubchen a und a', und da s ein fester Punkt gegen den Ring $r\,r$ ist, so kann durch die Schräubchen a und a' eine kleine Drehung des Ringes $r\,r$ und somit auch des Fadens f hervorgebracht werden.

200. Ueber den angeführten Schiebern befindet sich dann noch ein dritter M (Fig. 152), welcher das Ocular O' trägt und den Zweck hat, dasselbe so verschieben zu können, dass die beiden Fäden stets gleichweit von der Mitte des Gesichtsfeldes entfernt sind.

Dieser Schieber M wird durch die beiden Messingspangen $N\,N$ geführt, welche auf dem Schieber $C\,C$ befestigt sind; dabei werden diese beiden Schieber zugleich durch die Schraube F bewegt.

Die Verlängerung des Schiebers M bildet eine gezahnte Messingspange $L\,L$, in welche ein Trieb K eingreift, durch den die Bewegung dieses Schiebers allein und somit auch die eben bezeichnete Stellung des Oculars hergestellt werden kann.

201. Der zweite Haupttheil am Filarmikrometer ist der Positionskreis, ein kleiner mit Silber eingelegter getheilter Kreis $Q\,Q\,Q$ (Fig. 152).

Die Klemmung dieses Kreises T ist die in § 116 beschriebene; mit ihr und dem einen Alhidadenarme $R\,R$ ist die feine Bewegung mittels einer Sehnenschraube S (§ 121 ff.) verbunden.

Die Alhidadenarme $R\,R$ sind an dem Rahmen $A\,B$ der Schiebervorrichtung befestigt und gabelförmig; sie tragen an ihren Enden mittels einer Axenbewegung zwischen Spitzen (vgl. § 35) die fliegenden Verniers V, V.

Bei dem zum Refractor der münchner Sternwarte gehörigen Filar-

mikrometer ist der Kreis selbst direct von 15 zu 15 Minuten getheilt; mittels der Verniers kann noch 1 Minute abgelesen werden.

Die Bezifferung der Theilung geht dabei von rechts nach links herum und zwar fällt der Nullpunkt nahe mit dem nördlichen Punkte des Declinationskreises zusammen, wenn das Mikrometer mit dem Fernrohre verbunden ist. Der Positionswinkel wird nämlich gewöhnlich nicht vom Parallelkreise, sondern vom Nordpunkte des Declinationskreises über Osten, Süden und Westen von 0° bis 360° herumgezählt. Es ist einleuchtend, dass sich in der Praxis der Nullpunkt der Theilung nicht ganz genau mit dem Nordpunkte des Declinationskreises in Uebereinstimmung bringen lässt. Man muss deshalb diesen Punkt am Positionskreise bestimmen, und zwar geschieht dies dadurch, dass man die Fäden so weit dreht, bis ein Stern, wozu am besten ein Aequatorstern genommen wird, nach der Länge der Fäden durch das Gesichtsfeld hindurchgeht, d. h. bis dieselben im Parallelkreise stehen; die Ablesung sollte dann 90° betragen, die Abweichung davon gibt die Correction der Kreisablesungen.

202. Der dritte Haupttheil des Filarmikrometers von Fraunhofer ist die Beleuchtungsvorrichtung *W*, welche Fig. 155 im Durchschnitte zeigt. Dieselbe besteht aus zwei in einander drehbaren cylindrischen Rohren, von denen das Innere *b b b b* an das Ocularende des Fernrohrs angeschraubt wird und an seinem ganzen Umfange herum eine Reihe ovaler Oeffnungen *C C C* .... besitzt. Das äussere Rohr *a*, *a*, *a*, *a* hat blos zwei einander diametral gegenüberstehende Oeffnungen, in welche die beiden Röhren *R' R'* einmünden, in welche die in § 105 beschriebenen Lampen gesteckt werden. Diese Röhren haben dabei eine solche Neigung, dass das von den Lampen kommende Licht nicht zum Oculare, sondern blos zu den Fäden gelangen kann, sodass diese also hell auf dunklem Grunde erscheinen.

Das äussere Rohr *a a a a* ist zwischen den bei seinen Enden an dem innern Rohre fest angebrachten Ringen *f f* und *f' f'* drehbar und kann durch eine Klemmschraube *S'* (Fig. 153) an einer beliebigen Stelle mit dem innern Rohre fest verbunden werden. Bei den Beobachtungen geschieht dieses Festklemmen in derjenigen Lage, bei welcher das von den Lampen durch die Röhren *R' R'* eintretende Licht senkrecht gegen die Länge der Fäden einfällt.

203. Steckt man in die Röhren *R' R'* die Fraunhofer'schen Lampen, so tritt der Uebelstand ein, dass man bei jeder grössern Bewegung des Fernrohrs die Lampen herausnehmen muss, weil sonst das Oel aus denselben ausfliessen würde.

Merz [1]) hat deshalb bei den neuern Refractoren die Beleuchtungslampen

---

1) Merz, a. a. O.

des Filarmikrometers nach Art der Schiffslampen angebracht, wobei das Oelgefäss in jeder beliebigen Lage des Fernrohrs sich horizontal stellt. Da diese Aufhängungsweise auch noch anderweitig, z. B. bei den Schiffscompassen, den Chronometern u. s. w., vorkommt, so will ich das Wesen derselben hier anführen. Die Einrichtung besteht nämlich einfach in einer doppelten Axenbewegung in der Art, dass die Lampe oder das Chronometer L (Fig. 158) eine Axe $a\,a$ trägt, welche sich in dem Ringe $R\,R$ dreht, und dass mit diesem Ringe wieder eine auf $a\,a$ senkrecht stehende Axe $a'\,a'$ verbunden ist, welche sich in einem zweiten Ringe $R'\,R'$ dreht, der mit dem Gehäuse für den ganzen Apparat in fester Verbindung steht oder dieses Gehäuse selbst bildet. Es leuchtet ein, dass bei jeder Lage des Gehäuses die Lampe oder das Chronometer seine horizontale Stellung beibehält.

In anderer Weise hat Lamont den angeführten Uebelstand der Fraunhofer'schen Beleuchtungslampen beseitigt. Er steckte nämlich in die Röhren $R'\,R'$ (Fig. 153) der Beleuchtungsvorrichtung ein zweites Röhrchen r (Fig. 150), mit welchem eine Gabel $a\,b$ verbunden ist, die einen um $s\,s'$ drehbaren Metallspiegel S trägt. Dieser Spiegel kann dann so gestellt werden, dass er das Licht einer vom Fernrohre unabhängig angebrachten Lampe gegen die Fäden im Mikrometer reflectirt.

Secchi hat diese Fäden durch den Funken eines Rhumkorff'schen Inductionsapparats beleuchtet, und Arago hat vorgeschlagen, die Wollaston'schen Metallfäden anzuwenden und dieselben durch den galvanischen Strom selbstleuchtend zu machen; das Nähere hierüber wurde bereits in § 109 abgehandelt.

204. Die gegenseitige Verbindung der drei beschriebenen Haupttheile vom Fraunhofer'schen Filarmikrometer: der Schiebereinrichtung, des Positionskreises und der Beleuchtungsvorrichtung, ist dann in folgender Weise hergestellt.

Der Kreis $Q\,Q$ (Fig. 153) ist auf das innere Rohr der Beleuchtungsvorrichtung W aufgesetzt und über dem Kreise ein ringförmiger Aufsatz $t\,t$ aufgeschraubt, welcher an seinem obern Ende einen kleinen Vorsprung besitzt. An diesen Vorsprung legt sich unten ein flacher Stahlring $f\,f$ an, welcher mittels dreier Schrauben s, s an der Schiebereinrichtung befestigt wird und dieselbe so als Kreisfeder gegen den untern Theil des Apparats anzieht. Das untere Ende der Beleuchtungsvorrichtung bildet eine Schraube $m\,m$, welche in den Ocularansatz des Fernrohrs eingeschraubt wird und so die Verbindung des Mikrometers mit dem Fernrohre herstellt.

205. So vollkommen der beschriebene Mikrometerapparat bezüglich seiner Construction ist, so besitzt er doch auch seine Uebelstände [1]), und zwar

---

1) S. Lamont's Jahrbuch der königlichen Sternwarte bei München für 1840, S. 186; ferner dessen Jahresbericht für 1858, S. 9.

ist hier vor allem zu erwähnen, dass der Aufwand von Zeit und Mühe, welchen eine Messung erfordert, mit dem dadurch erlangten Erfolge zusammengehalten in keinem entsprechenden Verhältnisse steht, viel zu bedeutend ist.

Jedoch auch abgesehen hiervon ist als ein Hauptübelstand die Nothwendigkeit der Beleuchtung zu bezeichnen. Bei grössern Sternen hat dieselbe allerdings keinen wesentlichen Einfluss; handelt es sich dagegen um die Beobachtung lichtschwacher Objecte, so leidet die Deutlichkeit derselben, sobald Licht in das Fernrohr gelangt, man mag hierbei das Gesichtsfeld oder die Fäden erleuchten. Ganz kleine Sterne verschwinden entweder sogleich vollständig oder, wenn sie auch in einiger Entfernung von den Fäden noch ganz gut sichtbar waren, sobald sie in die Nähe eines Fadens kommen.

Ein weiterer Uebelstand tritt ein, wenn man die Messung von Flächen, z. B. von Planetenscheiben. vornehmen will. Hier kommt nämlich in Betracht, dass der Faden immer eine nicht unbeträchtliche Dicke besitzt, welche um so bedeutender wird, je stärker die angewendete Vergrösserung durch das Ocular ist. Nun sollte genau die Mitte des Fadens auf die Grenze der zu messenden Fläche eingestellt werden, was sich, wie leicht einzusehen ist, wegen der Undurchsichtigkeit der Fäden nicht mit Sicherheit bewerkstelligen lässt. An den Rändern der Fäden die Einstellung vorzunehmen, ist deshalb nicht rathsam, weil hier stets eine Beugung des Lichts stattfindet.

II. Mikrometer, bei welchen blos ein Bild der Messvorrichtung im Focus des Fernrohrs erzeugt wird. — Lichte Linien und Punkte.

1. Das Steinheil'sche Mikrometer.

206. Das Mikrometer, dessen Einrichtung Steinheil [1]) im Jahre 1827 bekannt gemacht hat, besteht im Wesentlichen darin, dass vor das Objectiv O (Fig. 159) des Beobachtungsrohrs F genau centrisch mit demselben ein zweites, weit kleineres Objectiv o angebracht wird, in dessen Brennweite sich die als Mikrometer dienende Messvorrichtung m befindet. Es gelangt also sowohl von dieser Messvorrichtung als von einem entfernten Himmelsobjecte paralleles Licht auf das grosse Objectiv, sodass die Bilder beider Gegenstände durch das Ocular betrachtet auf einander liegen müssen.

Um eine solche Verbindung zweckmässig herstellen zu können, umgab Steinheil die Fassung des grossen Objectivs mit einem hinlänglich starken

---

1) Steinheil, Ueber ein neues Netzmikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. V, Nr. 117.

Messingringe $R\,R$, dessen guter Anschluss an die Fassung mittels der Klemmschraube s bewerkstelligt werden konnte. Der Ring erhielt oben einen Ansatz, mit welchem eine Büchse K zur Aufnahme des Armes $A\,B$ verbunden wurde, zu dem, um hinlängliche Steifheit zu erzielen, am besten eine gezogene Messingröhre verwendet wird. Am vordern Ende dieses Armes $A\,B$ war der Stift $a\,b$ verstellbar angebracht, welcher unten die Mikrometertafel m trug. Diese konnte also durch Verschiebung nach den beiden Richtungen $a\,b$ und $A\,B$ gehörig in die Brennweite des kleinen Objectivs o eingestellt werden. Als Mikrometertafel gebrauchte Steinheil ein rechtwinkliges Netz, welches aus einem feinen Silberblättchen scharf ausgeschnitten und durch ein zur Seite befindliches Licht erleuchtet wurde.

207. Es ist einleuchtend, dass bei der angeführten Mikrometereinrichtung die Wirksamkeit des grossen Objectivs bedeutend geschwächt wird. Steinheil [1]) hat diesen Uebelstand selbst erkannt und später vorgeschlagen, das kleine Objectiv zwischen das Hauptobjectiv und dessen Ocular zu bringen und zwar in der Art, dass die optische Axe des kleinen Objectivs senkrecht gegen die optische Hauptaxe des Beobachtungsfernrohrs zu stehen kommt. Vor dem kleinen Objective muss dann ein unter 45° geneigter Spiegel oder ein kleines Glasprisma angebracht werden, welches in den Lichtkegel des Hauptobjectivs eingreift und so das Bild der Messvorrichtung in den Focus der letztern bringt. Setzt man hierbei an die Stelle des kleinen Objectivs ein ganzes, mit einem Oculare versehenes Fernrohr, so kann die Mikrometertafel in einer beliebigen Distanz vor demselben aufgestellt und auch in grösserem Massstabe ausgeführt werden.

2. Lamont's Mikrometer mit lichten Linien.

208. Lamont hat, namentlich durch die oben angeführten Uebelstände des Fraunhofer'schen Filarmikrometers veranlasst, mit dem Refractor der münchner Sternwarte ein eigenthümlich construirtes Mikrometer verbunden [2]), dessen Einrichtung Fig. 151 im Wesentlichen darstellt.

Die Messvorrichtung ist hier eine mit Kienruss geschwärzte Glasplatte, auf welcher mit dem Linienreisser einer Theilmaschine ein System von ganz feinen Linien eingerissen wurde, sodass die Schwärze daselbst weggenommen war. Wurde nun diese Glasplatte zwischen das Auge und eine Lichtquelle gehalten, so sah man die Linien natürlich hell erleuchtet.

Die Glasplatte wurde sodann in einen geeigneten Rahmen $l\,l$ gebracht, welcher mit einem Rohre R in Verbindung steht, in dem ein Objectiv o

1) Steinheil, Ueber Mikrometer: Schumacher's Jahrbuch für 1844, S. 17 ff.
2) Lamont, Jahrbuch der königlichen Sternwarte bei München für 1840, S. 186.

so eingestellt ist, dass die Linien sich genau im Focus desselben befinden. Das Licht dieser Linien tritt also parallel aus dem Objective *o* aus; es gelangt sodann auf ein gleichschenkliges, rechtwinkliges Glasprisma *p* und nach seinem Austritte aus demselben auf ein zweites Objectiv *o'*, welches das aus dem Prisma zu ihm gelangende Licht in seinem Focus wieder vereinigt.

Innerhalb der Focaldistanz dieses letztern Objectivs brachte nun Lamont ein Planparallelglas an, sodass das oben vom Objective *o'* kommende Licht reflectirt und das Bild der lichten Linien durch das Ocular *O* deutlich gesehen werden konnte.

Die ganze Vorrichtung wird sodann mit dem Refractor in der Art verbunden, dass der von dem Objective desselben kommende Lichtkegel durch das Planparallelglas *g* hindurchgehen muss; man sieht also bei gehöriger Stellung des Oculars *O* zugleich die lichten Linien und das Bild eines beobachteten Himmelsobjects und kann so die Messung vornehmen.

Das vom Objective des Refractors kommende Licht wird allerdings beim Durchgange durch das Planparallelglas *g* etwas geschwächt, doch ist diese Schwächung ganz unmerklich; Lamont sah die schwächsten Sterne, welche ohne Planglas gesehen wurden, so z. B. die kleinen Sterne im Orionnebel oder den zweiten und vierten Uranustrabanten, auch mit dem Planglase. Es war übrigens mit diesem Glase *g* eine Vorrichtung *m m* verbunden, durch welche dasselbe mittels der Schraube *v* jederzeit beiseite, also aus dem vom Refractorobjective herkommenden Lichtkegel herausgestellt werden konnte.

Für die Beleuchtung der Linien gebrauchte Lamont wieder den in § 203 beschriebenen Spiegel; zu bemerken ist noch, dass sich in dem Rahmen *l l* verschiedene Liniensysteme befinden, welche verschoben und also nach Belieben gebraucht werden können, und dass mittels eines Schiebers die hellen Linien zugleich in leuchtende Punkte verwandelt werden können.

3. Stampfer's Mikrometer mit lichten Linien und Punkten. — v. Littrow's Linien.

209. Bei den vorhergehenden Mikrometern befindet sich ein Theil der Vorrichtung, welche das Bild der lichten Linien in den Focus des Beobachtungsfernrohrs bringt, innerhalb des im letztern entstehenden Lichtkegels; Stampfer [1]) nun hat bei seinen Mikrometern dieses Eingreifen in den Lichtconus gänzlich vermieden.

Er brachte nämlich an dem Fernrohre (Fig. 160) seitwärts eine

---

1) Stampfer, Vorschlag eines neuen Fernrohr-Mikrometers mit hellen Linien und Punkten im dunklen Gesichtsfelde: Annalen der k. k. Sternwarte in Wien, Thl. XXI, Neue Folge, Bd. I, S. XLIV.

ebene Platte *a b* mit einer Oeffnung *e* an, welche durch eine mit einer undurchsichtigen Decke überzogene Glasplatte geschlossen ist, auf der das Liniennetz eingerissen wird. Diametral gegenüber steht ein geneigter Planspiegel *s s*; bei *m m* befindet sich ein ringförmiges Diaphragma, durch welches der vom Objective des Fernrohrs herkommende Lichtkegel gerade abgegrenzt wird. Dieses Diaphragma trägt bei *n* ein kleines Objectiv, welches jedoch nicht in den Lichtkegel hineinragt. Werden nun die Linien bei *e* durch eine Lampe erleuchtet, so fällt das Licht auf den Spiegel *s s* und wird von da zur Linse *n* reflectirt, welche die Strahlen zu einem Bilde des Netzes im Focus bei *i* vereinigt.

Durch eine eigene Einrichtung kann man das Netz beliebig entstehen und wieder verschwinden lassen. Es ist nämlich ein rechtwinklig umgebogener Blechstreifen *h o* bei *h* an der Wand des Fernrohrs fest gemacht, der mittels einer Schraube *g* so weit gehoben werden kann, dass kein Licht mehr vom Spiegel *s s* zur Linse *n* gelangen kann. Durch theilweise Deckung dieser Linse kann auch die Helligkeit des Bildes der Linien regulirt werden. Um die Beleuchtung des Liniennetzes selbst modificiren zu können, ist zwischen der Platte bei *e* und der Beleuchtungslampe ein keilförmiges gefärbtes Glas verschiebbar angebracht.

210. Will man anstatt des Liniennetzes einen einfachen Lichtpunkt im Gesichtsfelde des Fernrohrs erhalten, so hat man nur nöthig, bei *e* anstatt der Glasplatte eine Stahl- oder Messingplatte einzusetzen, welche ein kleines kreisrundes Loch besitzt. Stampfer brachte dabei auch anstatt des ebenen Spiegels *s s* ein kleines gut polirtes Kügelchen bei *d* (Fig. 164) an. Um die Grösse und Helligkeit dieses Lichtpunktes reguliren zu können, war bei *c* eine kreisförmige Scheibe (Fig. 163) angebracht, welche eine Reihe von runden Löchern verschiedener Grösse hatte; die so angebracht waren, dass sie der Reihe nach über die Oeffnung *e* durch Drehen der Scheibe gestellt werden konnten.

Ist bei diesem und dem vorhergehenden Mikrometer die Anwendung im Ganzen so weit berichtigt, dass das Bild des Punktes oder der Linien genau in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt, so ist eine Verschiebung des Oculars sorgfältig zu vermeiden, weil dadurch eine Veränderung der Lage des Bildes des Mikrometers gegen die Axe des Fernrohrs hervorgebracht würde. Es ist deshalb zweckmässig, eine Marke oder ein Schräubchen anzubringen, wodurch man sich jederzeit der constanten Stellung des Oculars versichern kann.

211. Man kann auch an einem Meridianinstrumente auf diese Weise lichte Linien und Punkte herstellen, wenn man die Mikrometerplatte an das Ende des Zapfens der hohlen horizontalen Axe bringt und im Cubus derselben den geneigten Planspiegel oder das spiegelnde Kügelchen befestigt.

Stampfer hat eine solche Einrichtung mit zwei leuchtenden Punkten für den Meridiankreis der Sternwarte in Kremsmünster verfertigt [1]), wo dann zwei spiegelnde Kügelchen im Cubus der horizontalen Axe sich befinden. Auch die Einrichtung für vier lichte Punkte (vier spiegelnde Kügelchen) hat er angegeben [2]); die Anordnung der einzelnen Theile des Mikrometers bleibt übrigens dabei im Wesentlichen stets die gleiche und oben angegebene.

Auch v. Littrow [3]) hat an den Meridianinstrumenten der wiener Sternwarte ähnliche Vorrichtungen zur Herstellung lichter Linien angebracht, bei welchen besonders zu bemerken ist, dass, um jede grössere Ansammlung von Licht, welche bei der Beobachtung kleiner Sterne nachtheilig werden könnte, zu vermeiden, die Linien nirgends sich durchkreuzen, wie dies Fig. 165 zeigt, und überhaupt so kurz als möglich gezogen sind.

212. Um das Liniennetz selbst herzustellen, wird, wie bereits bemerkt, eine Glasplatte mit einer undurchsichtigen Decke überzogen, worauf mittels eines möglichst scharfen Meissels die Linien eingravirt werden. Belegt man hierbei die Glasplatte mit Blattgold, so werden die Linien unrein und erscheinen mit gezackten Rändern; besser werden sie bei einem Ueberzuge mit Stanniol oder schwarzer Farbe. Starke hat für die Mikrometer an den wiener Meridianinstrumenten eine sehr gute Belegung dadurch hergestellt, dass er Lampenruss mit Kopallack zu einer Farbe abrieb und diese dann mit einem Pinsel auf der Glasplatte auftrug.

Stampfer hat auch vorgeschlagen, kleine Lamellen von dünnem Stahlblech, deren Kanten möglichst gerade geschliffen sind, auf der Glasplatte so nahe an einander aufzukitten, dass sie sich fast berühren. Noch ein anderes Mittel wurde von demselben zur Herstellung der Linien angegeben, bei welchem diese durch Reflexion an gut polirten Stahldrähten erzeugt werden, die dann im Fernrohre an die Stelle der spiegelnden Kügelchen *d* (Fig. 164) gebracht würden.

Bei den Lichtpunktmikrometern wendete Stampfer vorerst Kügelchen von 1 Linie Durchmesser an, welche aus Spiegelmetall verfertigt und gut polirt waren. Später liess er hohle Glaskügelchen mit Quecksilber füllen. Dabei entstehen aber zwei Bilder (an der äussern und innern Fläche des Glases), welche bei stärkerer Beleuchtung so deutlich wahrgenommen werden, dass Stampfer glaubt, dass massive Glaskügelchen auch hinreichen, wenn sie vollkommen polirt sind.

---

1) A. Reslhuber, Ueber Stampfer's Lichtpunktmikrometer im Fernrohre des Meridiankreises zu Kremsmünster: Wiener Sitzungsberichte, 1856, XX, S. 314.

2) Stampfer, Zusatz zur vorstehenden Abhandlung, a. a. O., 327.

3) v. Littrow, Ueber lichte Linien im dunklen Felde bei Meridianinstrumenten: Wiener Berichte, 1856, XX, 253. Derselbe, Ueber das Mikrometer mit lichten Linien bei den wiener Meridianinstrumenten: Wiener Berichte, 1860, XL.

Zu bemerken ist noch, dass die ganze Umgebung der Kügelchen matt geschwärzt sein muss, um jede nachtheilige Lichtreflexion zu verhindern; es ist sogar zweckmässig, zu diesem Behufe vor den Kügelchen kleine Diaphragmen anzubringen, welche durch eine kleine Oeffnung blos das von den Kügelchen reflectirte Licht durchlassen.

III. Doppelbildmikrometer.

213. Wenn man das Bild eines durch ein Fernrohr betrachteten Objects auf irgend eine Weise verdoppelt, und zwar in der Art, dass der Abstand der zwei so entstandenen Bilder beliebig und messbar geändert werden kann, so hat man ein sogenanntes Doppelbildmikrometer.

Man bringt nun diese Doppelbilder dadurch zu Stande, dass man das von dem betrachteten Himmelsobjecte kommende Licht theilt; diese Theilung kann aber hergestellt werden:

1) schon ehe das Licht in das Fernrohr eintritt — vor dem Objective;
2) beim Eintritte in dasselbe — im Objective selbst;
3) nachdem es durch das Objectiv bereits zu einem Strahlenkegel vereinigt ist — zwischen dem Objective und Oculare;
4) beim Austritte aus dem Fernrohre — im Oculare, und endlich
5) erst nach dem Austritte aus dem Oculare.

Es wäre hierdurch eine einfache Classification der Doppelbildmikrometer gegeben; für die folgende Beschreibung der bisher construirten, in diese Klasse gehörigen Mikrometer wird es jedoch zweckmässiger sein, eine andere Eintheilung zu Grunde zu legen, je nachdem nämlich das Licht

1) durch zwei Linsen, ganze Linsen oder Linsenhälften (Heliometer), oder
2) durch doppelt brechende Krystalle, oder
3) durch Glasprismen oder geneigte Planparallelgläser getheilt wird.

1. Heliometer.

214. Wenn die Zeit der Publication für die Priorität einer Erfindung entscheidend ist, so muss Bouguer [1]) als der Erfinder der Heliometer bezeichnet werden; die Erfindung selbst fällt in das Jahr 1748, gelangte jedoch erst im Jahre 1752 zur öffentlichen Kenntniss. [2]) Bouguer setzte näm-

---

1) Bouguer, De la mesure des diamètres des plus grandes planètes; description d'un nouvel micromètre, nommé heliomètre etc.: Mémoires de l'Académie de Paris pour l'an 1748.

2) Vgl. Delambre, Histoire de l'astronomie au dix-huitième siècle, S. 349.

lich zwei Objective von gleicher Focaldistanz so neben einander, dass durch ein und dasselbe Ocular die durch die beiden Objective entstandenen Bilder des nämlichen Objects gesehen werden konnten; die Distanzen wurden durch die Verschiebung der Objective gemessen. Lalande [1]) liess später (1753) ein solches Heliometer ausführen, bei welchem die beiden Objective 19 Linien Oeffnung und 17 Fuss 6 Zoll Brennweite hatten.

Die Royal Society zu London machte im Jahre 1753 eine Abhandlung von Servington Savery [2]) bekannt, welche ebenfalls die Erfindung des Heliometers mit zwei Objectiven enthält und welcher ein Schreiben von Short beigefügt ist, wonach diese Erfindung schon im October 1743 der Societät angezeigt wurde, die betreffende Abhandlung aber bei Bradley, der das Referat darüber hatte, liegen geblieben war.

Dollond [3]) hat die angegebene Einrichtung des Heliometers dahin abgeändert, dass er vor das Objectiv eines gewöhnlichen Fernrohrs ein zweites Objectiv mit negativer Brennweite brachte, welches in der Mitte durchschnitten war und wobei die Hälften verschiebbar eingerichtet waren. Noch einen Schritt weiter ist Fraunhofer gegangen, indem er das Objectiv des Beobachtungsfernrohrs selbst in der Mitte durchschnitt und überhaupt das ganze Instrument auf den höchsten Grad der Vollendung brachte. [4])

Das Fraunhofer'sche Heliometer.

215. Schneidet man nämlich eine achromatische Linse in der Mitte entzwei, so gibt jede der so erhaltenen Hälften ein vollkommenes, aber natürlich weit schwächeres Bild eines Gegenstandes; bringt man dann die beiden Hälften wieder zusammen, sodass sie nur eine Linse bilden, so erhält man wieder ein einziges Bild des betrachteten Objects.

Bildet nun, wie dies bei dem Fraunhofer'schen Heliometer der Fall ist, eine solche durchschnittene Linse das Objectiv eines Fernrohrs, und man betrachtet, während die beiden Hälften genau über einander liegen, durch das Ocular das Bild eines Himmelskörpers, z. B. der Sonne oder eines Planeten, so sieht man dasselbe als eine kreisförmige Scheibe. Verschiebt man hierauf die beiden Hälften des Objectivs über einander, so entstehen

---

1) Delambre, a. a. O., S. 575.

2) Savery, A new way of measuring the diameter of the sun, with a micrometer etc. (Read 1743). With a letter of J. Short: Philos. Trans. für 1753, S. 167.

3) Dollond, On the divided object glass micrometer: Philos. Trans. für 1753, Nr. 27.

4) Hansen, Ausführliche Methode, mit dem Fraunhofer'schen Heliometer Beobachtungen anzustellen (Gotha 1827). Bessel, Theorie eines mit einem Heliometer versehenen Aequatoreals, in dessen Astronomischen Untersuchungen, Bd. I, S. 1. Gehler's Physikalisches Wörterbuch (neue Bearbeitung), Art. Heliometer.

zwei Bilder dieses Himmelskörpers, und wenn man die Verschiebung so weit fortsetzt, bis sich die beiden Scheiben gerade tangiren, so kann aus der Grösse dieser Verschiebung der scheinbare Durchmesser des Himmelskörpers abgeleitet werden.

Man ersieht also hieraus im Allgemeinen, wie mittels des Fraunhofer'schen Heliometers Messungen am Himmel vorgenommen werden können; es sollen nun die einzelnen Theile dieses Instruments näher betrachtet werden.

216. Die Einrichtung des Objectivs zeigt Fig. 166. Die beiden Hälften O und O' desselben sind an Schiebern $S\,S$ und $S'\,S'$ befestigt, welche beide von einander unabhängig mittels sehr feiner Mikrometerschrauben c, c bewegt werden können und an welchen die Indices m und m' befestigt sind, die an den Scalen $s\,s$ und $s'\,s'$, deren Intervalle der Länge eines Schraubengangs gleichkommen, die Grösse der Verschiebung der beiden Objectivhälften gegen einander angeben.

Die Scalen $s\,s$ und $s'\,s'$ sind auf einer Silbereinlage in dem Rahmen der Schieber aufgetragen und so angebracht, dass, wenn die beiden Indices die nämliche Ablesung geben, die Objectivhälften genau über einander liegen, sodass sie nur ein einziges Objectiv bilden und also auch nur ein einziges Bild eines betrachteten Objects im Focus entsteht. Es ist dabei diejenige gegenseitige Stellung der beiden Objectivhälften erforderlich, bei welcher ein Zwischenraum bleibt, der genau der Dicke des beim Durchschneiden herausgenommenen Glases entspricht; diese Stellung nun kann durch die acht Schrauben $a, a, \ldots$, von denen vier Zugschrauben, die andern vier Druckschrauben sind, corrigirt werden.

Die Mikrometerschrauben c, c, welche die beiden Schieber führen, tragen hinter dem Stege gezahnte Räder $r\,r$, durch welche, wie wir später sehen werden, die Bewegung der Schieber vom Ocularende des Fernrohrs aus ermöglicht wird. Die eine der angeführten Schrauben trägt ausserdem noch eine getheilte Trommel T, um auch hier wieder Bruchtheile der ganzen Schraubenumgänge mittels eines Index d mit Sicherheit ablesen zu können.

Bei den noch von Fraunhofer selbst verfertigten Heliometern werden die Objectivhälften in gerader Linie verschoben; bei dem grossen Heliometer zu Oxford [1]), zu dem Merz die Objectiveinrichtung geliefert hat, geschieht diese Verschiebung in einem Bogen, dessen Krümmungsradius gleich der Focaldistanz des Objectivs ist. Es wird nämlich dadurch der Vortheil erzielt, dass die Brennpunkte der beiden Hälften bei jeder Verschiebung derselben die gleiche Lage gegen das Ocular beibehalten.

Da diejenige Seite der ganzen Objectiveinrichtung, auf welcher sich

---

1) Astronomical observations made at the Radcliffe Observatory Oxford, Bd. XI, Einleitung, S. XIV.

die Schrauben befinden, bedeutend schwerer als die gegenüberliegende Seite ist, so muss durch ein Gegengewicht G das Gleichgewicht hergestellt werden.

Bei den Heliometern von grössern Dimensionen — Fig. 16 zeigt das grosse, von Merz verfertigte Heliometer in Pulkowa [1]) — sind an jedem Schieber zwei Scalen angebracht, und zwar in der Art, dass die eine mittels eines mikrometrischen Mikroskops m (Fig. 16), die andere auf der Rückseite der Schiebervorrichtung befindliche und mit der erstern correspondirende Scala vom Ocularende aus mittels eines Fernrohrs r abgelesen werden kann.

Dadurch, dass die beiden Objectivhälften von einander unabhängig verschiebbar eingerichtet sind, ist die Möglichkeit gegeben, die Messungen der Distanzen zu vervielfältigen.

217. Die beschriebene Objectiveinrichtung wird nun nicht etwa an das Rohr des Instruments festgeschraubt, sondern gegen das Ende desselben durch eine Art Kreisfeder v (Fig. 16) fest angezogen, ganz auf die gleiche Weise wie die Schiebereinrichtung beim Filarmikrometer (vgl. § 204). Der hinlänglich starke Stahlring v legt sich nämlich unten an einen Vorsprung, welcher das Objectivende des Rohres bildet, an; auf diesem Vorsprunge liegt aber die Objectiveinrichtung auf und wird durch drei starke, durch den Stahlring hindurchgehende Schrauben gegen das Rohr fest angezogen.

Der Grund dieser Einrichtung ist folgender. Es muss nämlich, um die Distanz zweier nahe liegender Sterne messen zu können, die Durchschnittslinie der beiden Objectivhälften mit der Richtung der Verbindungslinie beider Sterne zusammenfallen, weil sonst die Bilder nicht zur Coincidenz gebracht werden können. Zu diesem Behufe ist es erforderlich, dass das ganze Objectiv sich um die Axe des Fernrohrs drehen lasse. Um dies aber bewerkstelligen zu können, ist der vorstehende Rand zwischen dem Stahlringe v und der Objectivvorrichtung gezahnt; in diese Zähne greift ein Trieb ein, welcher vom Ocularende aus gedreht werden kann und so auch, da er mit der Schiebervorrichtung fest verbunden ist, eine Drehung des Objectivs erzeugt.

Um die Grösse dieser Drehung genau angeben, d. h. auch den Positionswinkel messen zu können, ist an dem Rohre eine Theilung w angebracht; an der Objectivvorrichtung sind zwei diametral gegenüberliegende Nonien zur Ablesung befestigt. Um bei den grossen Heliometern auch hier die Ablesung vom Ocularende des Instruments aus mittels des Fernrohrs r vornehmen zu können, ist mit dem Nonius ein kleiner geneigter Spiegel q verbunden.

Bei Nacht müssen sowohl die Scalen an den Schiebern als auch die eben angeführte Theilung des Positionskreises beleuchtet werden, was bei

---

1) Struve, Description etc., S. 205, Taf. XXXVI.

den grossen Instrumenten mittels einer Lampe und einer Collectivlinse geschieht.

218. Das Ocular des Heliometers *o* (Fig. 167) ist auf einem beweglichen Schieber *V V* befestigt, welcher mittels der Schraube *p* bewegt wird. Dieser Schieber hat den Zweck, das Ocular stets senkreht gegen die Mitte der beiden verschobenen Objectivhälften, d. h. symmetrisch gegen dieselben stellen zu können. Diese Lage kann an einer an dem Schieber selbst angebrachten Scala abgelesen werden, welche correspondirend mit den Scalen der Objectivschieber getheilt und beziffert ist.

Die Bewegung des Ocularschiebers, sowie auch der beiden Objectivschieber geschieht auf eine Art, welche von der bereits mehrfach bekannten und bei Behandlung des mikrometrischen Mikroskops (Abschnitt II, § 57 ff.) genau erörterten etwas abweicht. Ich will diese Einrichtung an dem Ocularschieber erklären, welchen Fig. 167 von vorn, d. h. wie man denselben vor sich hat, wenn man durch das Ocular *o* in das Fernrohr hineinsieht, und Fig. 168 von hinten betrachtet darstellt.

Der Hals der Schraube *p* geht durch das Verbindungsstäbchen *a b* des Rahmens *r r*, welcher mit dem Ocularende des Fernrohrs fest verbunden ist, frei hindurch; das Schraubenende legt sich bei *t* an einen festen Punkt an. Die Schraube *p* geht dabei unter dem Ocularschieber *V V* hinweg; an diesem Schieber ist aber ein Stückchen *m* angeschraubt, welches eine Mutter für die Schraube *p* bildet.

Wird nun die Schraube vorwärts gedreht, so bewegt sie sich selbst nicht vorwärts, wohl aber bewegt sich die Mutter *m* und damit der Schieber *V V* die Schraubengänge entlang; beim Rückwärtsdrehen der Schraube nimmt dann der Schieber die entgegengesetzte Bewegung an. Damit aber die Schraube auch in diesem Falle feststeht, d. h. wohl eine Drehung, jedoch keine Bewegung der Länge nach zulässt, muss hinter den Gängen eine ringförmige Erhöhung angebracht sein, welche sich an das Verbindungsstäbchen *a b* anlegt, sodass also hier ein todter Gang vorhanden sein wird. Bei den Schiebern am Objective, welche, wie oben bemerkt, auf die gleiche Weise bewegt werden, bildet das Verbindungsstäbchen *a b* eine starke Stahlfeder, und man könnte durch gehöriges Anziehen derselben den todten Gang völlig beseitigen; allein es ist dies nicht rathsam, weil dann die Gleichförmigkeit und Sanftheit der Bewegung beeinträchtigt wird und die schädliche Wirkung des todten Ganges dadurch, dass man alle Einstellungen durch Vorwärtsdrehen der Schrauben vornimmt, gänzlich umgangen werden kann.

Sämmtliche Schieber laufen an beiden Seiten, wo sie in dem zugehörigen Rahmen geführt werden, wie die Schieber am Filarmikrometer schräg ab, damit sie nicht herausfallen können; um eine ganz gleichförmige Bewegung zu erhalten, schleift man diese schräg ablaufenden Seiten gegen die sie führenden Stücke des Rahmens sorgfältig ab.

Die ganze Schiebereinrichtung des Oculars kann um die Axe des Rohres gedreht werden, was den Zweck hat, die Verschiebung des Oculars parallel mit der Bewegung der Objectivhälften bewerkstelligen zu können. Damit auch hier wieder die richtige Stellung ermittelt werden kann, ist am Ende des Rohres t (Fig. 167) eine Kreistheilung aufgetragen; an dem Rahmen des Ocularschiebers, welcher mittels der Schraube n festgestellt werden kann, befindet sich ferner ein Index zur Ablesung, und zwar ist diese Kreistheilung so beziffert, dass bei paralleler Stellung der Objectivschieber und des Ocularschiebers die Ablesungen derselben mit den an der Theilung w (Fig. 16) des Positionskreises erhaltenen genau übereinstimmen.

219. Bei den grossen Heliometern wird mit dem Ocularende auch ein Sucher F' (Fig. 16) in Verbindung gebracht. Ferner befindet sich daselbst ein kleineres Fernrohr r, welches doppelte Axenbewegung besitzt und, wie bereits angeführt, zur Ablesung der Theilungen der Objectivschieber und des Positionskreises dient; dieses Fernrohr r muss durch ein Gegengewicht p' gegen das Heliometerfernrohr balancirt werden.

220. Die Bewegung der beiden Objectivschieber oder eigentlich der diese fortführenden Mikrometerschrauben kann vom Ocularende aus mittels zweier Leitstangen $L\,L'$ (Fig. 16) bewerkstelligt werden, von welchen in der Figur nur die eine sichtbar ist, da sie beide über einander liegen.

Es wurde bereits in § 216 angeführt, dass jede der Mikrometerschrauben, mittels welcher die Objectivhälften verschoben werden, hinter dem Stege ein gezahntes Rad r, r (Fig. 166) trägt. In die Zähne dieses Rades, welche schräg stehen, greift ein zweites darauf senkrecht stehendes, ebenfalls mit schrägen Zähnen versehenes Rad ein, dessen Axe K (Fig. 16) mit der Leitstange $L\,L'$ durch einen Hyggins'schen Schlüssel k verbunden ist.

Diese nach ihrem Erfinder benannte, auch sonst sehr häufig angewendete Vorrichtung besteht aus zwei Gabeln m und m' (Fig. 169), welche mit einem dritten cylindrischen Stücke c verbunden sind, so zwar, dass sich die Gabel m um eine Axe s', s', die Gabel m' um eine darauf senkrecht stehende Axe $s\,s$ bewegen kann; es ist hierbei immer am zweckmässigsten, wenn diese beiden Axen in einer und derselben Ebene liegen.

Mit der einen Gabel eines solchen Hyggins'schen Schlüssels nun ist beim Heliometer die Axe K des oben erwähnten gezahnten Rades, mit der andern Gabel die Leitstange $L\,L'$ verbunden.

Die Drehung des Objectivs um die Axe des Fernrohrs kann ebenfalls vom Ocularende aus mittels einer dritten Leitstange $L''\,L'''$ bewerkstelligt werden. An der Axe des Triebes (§ 217) nämlich, welcher in die Zähne des vorstehenden Randes am Objectivende des Rohres eingreift, ist wieder die eine Gabel eines Hyggins'schen Schlüssels k befestigt, während die andere Gabel desselben mit der Leitstange $L''\,L'''$ fest verbunden ist. Es ist zu bemerken, dass bei dieser Einrichtung die Drehung des Objectivs nur

wenig über 180° bewerkstelligt werden kann; die Leitstange selbst nämlich bietet für die weitere Bewegung das Hinderniss.

Die drei Leitstangen $L\,L'$ und $L''\,L'''$ gehen durch eine geeignete Führung p und tragen an ihren Enden randrirte Köpfe, um sie leicht drehen zu können. Die Führung p, sowie ein Theil des Gewichts der Leitstangen, muss durch ein Gegengewicht p' gegen das Heliometerfernrohr balancirt werden. Besitzt das Instrument auch noch ein kleines Fernrohr r zum Ablesen der Scalen und des Positionskreises, so wird das Gegengewicht p' so eingerichtet, dass es zugleich auch diesem Ablesefernrohre das Gleichgewicht hält.

221. Das Rohr des Heliometerfernrohrs ist von Mahagoniholz und läuft vom Objective gegen das Ocular schwach konisch ab; sein Durchmesser am Objectivende ist weit grösser als die Oeffnung des Objectivs selbst und zwar nahe doppelt so gross. Es ist dies selbstverständlich deshalb erforderlich, damit auch, wenn die Objectivhälften weiter verschoben sind, das ganze Licht in das Rohr gelangen kann.

Das ganze Fernrohr ist sodann mit einem parallaktischen Axensysteme verbunden. Die grossen Heliometer sind dabei auf gleiche Weise wie die grossen Refractoren montirt; bei den kleinen Heliometern dagegen läuft die Stundenaxe in einer ganzen Büchse, welche unter der Neigung der Polhöhe an ihrem obern Ende mit einer kleinen Platte verbunden ist, die auf eine lange verticale Axe aufgesetzt ist. Diese verticale Axe bewegt sich in einer messingenen, eine Säule bildenden Büchse, welche einen Dreifuss trägt, auf dem das ganze Instrument ruht. Durch diese Einrichtung kann die Stundenaxe jederzeit genau in den Meridian gebracht werden.

Das grösste, von Fraunhofer selbst noch verfertigte Heliometer ist das königsberger, dessen Objectiv eine Oeffnung von 70 Linien hat; später wurden von Merz in dem münchner optischen Institute noch grössere Heliometerobjective hergestellt, nämlich das für Pulkowa, welches 7,4 Zoll Oeffnung und 123,0 Zoll Focaldistanz hat, und ein anderes für das Radcliffe-Observatorium zu Oxford, dessen Durchmesser 7,5 Zoll und dessen Focallänge 10 Fuss 6 Zoll beträgt und für welches Repsold die äquatoreale Aufstellung besorgt hat.

Steinheil's Ocularheliometer.

222. Das Heliometer von Fraunhofer hat, wie alle Doppelbildmikrometer, den grossen Vortheil, dass man bei der Messung von der Festigkeit in der Aufstellung des Instruments und der täglichen Bewegung der Gestirne unabhängig ist, ferner dass man keine Beleuchtung nöthig hat.

Dagegen ist zu bemerken, dass die Leistung des Objectivs bedeutend vermindert wird, da nur die Hälfte desselben wirksam ist, sodass man sich im Besitze eines kostbaren Objectivs nur ungern entschliessen wird, das-

selbe der mit dem Durchschneiden stets verbundenen, nicht unbedeutenden Gefahr auszusetzen.

Es wurden übrigens auch Heliometer construirt, bei welchen das Objectiv nicht selbst durchschnitten, sondern eine durchschnittene Linse zwischen das Objectiv und das Ocular gebracht wird. Ein solches Mikrometer wurde von Amici [1]) angegeben und später von Steinheil [2]) mit wesentlichen Verbesserungen für den grossen Refractor der pulkowaer Sternwarte hergestellt.

223. Die durchschnittene Zwischenlinse ist bei diesem Steinheil'schen Ocularheliometer achromatisch und die Bewegung der beiden Hälften so eingerichtet, dass keine derselben für sich allein verschoben werden kann, sondern die Verschiebung der einen Hälfte eine entgegengesetzte der andern Hälfte zur Folge hat, sodass die Lage beider gegen die optische Axe des Fernrohrs stets symmetrisch bleibt.

Damit das ganze Mikrometer bei jeder Lage des Fernrohrs balancirt ist, brachte Steinheil einen Ring an, welcher zwei Systeme von senkrecht gegen einander stehenden Frictionsrollen trägt und auf welchen zwei analoge Systeme von Gegengewichten wirken.

Da es für die Vergleichung zweier beobachteter Objecte ein wesentlicher Vortheil ist, dass dieselben gleiche Lichtintensität haben, so ist an dem zu diesem Mikrometer gehörigen Oculare ein verstellbares Diaphragma angebracht, durch welches der einen oder andern Hälfte der getheilten Zwischenlinse Licht entzogen und also die Helligkeit der beiden Bilder gleich gemacht werden kann.

2. Mikrometer mit doppeltbrechenden Krystallen.

1) Rochon's Mikrometer.

224. Eine zweite Klasse von Doppelmikrometern sind diejenigen, bei welchen die bei einigen Krystallen, z. B. dem Bergkrystalle oder dem isländischen Doppelspathe, vorkommende doppelte Brechung zur Erzeugung von Doppelbildern benutzt wird. Der Erste, welcher diese Anwendung machte, war der Franzose Rochon. [3])

---

1) Amici, Nouveau micromètre intermédiaire: v. Zach, Correspondance astronomique, IX, 517.

2) Steinheil, Gelehrte Anzeigen der münchner Akademie, Jahrg. 1843, Bd. I, Nr. 41. Schuhmacher's Jahrbuch für 1844, S. 20. Struve, Description etc., S. 195.

3) Rochon, Recueil de mémoires sur la mécanique et la physique (Paris 1783). Mémoire sur les verres achromatiques adaptés à la mesure des angles et sur les avantages, que l'on peut tirer de la double réfraction pour la mesure précise des petits angles: Mém. des Soc. Sav. et Littér., I, 201. Das Historische über diesen Gegenstand ist zusammengestellt von Delambre, a. a. O., S. 645 ff.

Dieser schnitt nämlich zwei rechtwinklige Prismen P und P' (Fig. 170) mit gleichem brechenden Winkel aus einem Bergkrystalle heraus und legte sie mit den beiden Hypotenusenflächen an einander, sodass die Seiten $a\,b$ und $c\,d$, ferner $b\,c$ und $a\,d$ parallel sind; die optischen Axen der beiden Prismen stehen dabei senkrecht auf einander. Gelangt nun ein Lichtstrahl $l\,m$ bei m senkrecht in das Prisma P, so geht er durch dasselbe, da seine optische Axe auf m senkrecht steht, ungebrochen und unzerlegt hindurch; bei n dagegen, d. h. beim Uebergange in das Prisma P', dessen optische Axe mit der brechenden Kante parallel ist, also senkrecht auf der Ebene der Figur steht, wird er in zwei Strahlen zerlegt, nämlich in den ordentlichen Strahl $n\,o$, der seinen Weg ohne Aenderung seiner Richtung fortsetzt, und den ausserordentlichen Strahl $n\,p$, welcher einmal bei n und dann auch bei p, d. h. beim Austritte in die Luft, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird. Die Grösse dieser Ablenkung hängt vom brechenden Winkel des Prismas ab und ist für ein bestimmtes Prisma constant.

Bringt man nun ein solches Prisma zwischen das Objectiv und das Ocular eines Fernrohrs, z. B. nach p (Fig. 171), so werden, wenn F den Focus des Objectivs O bezeichnet, die beiden Bilder a' und a'' eines beobachteten Gegenstandes a in diesem Focus erzeugt; rückt man dagegen das Prisma näher gegen das Objectiv O hin, z. B. nach p', so entstehen zwei weiter von einander abstehende Bilder a' und a''' des Objects a im Focus. Man sieht also, wie durch Verschiebung des Prismas nach der Länge der optischen Axe des Fernrohrs die Entfernung der Bilder beliebig und zwar messbar geändert werden kann.

Rochon brachte nun wirklich, wie dies Fig. 172 darstellt, das beschriebene Doppelprisma p von Bergkrystall in das Rohr des Fernrohrs hinter das Ocular O. Das Röhrchen, in welchem das Prisma p befestigt ist, kann dabei mittels des Handgriffs d nach der Länge der optischen Axe verschoben werden; die Grösse der Verschiebung kann an einer Scala $s\,s'$ abgelesen werden.

2) Arago's Mikrometer mit veränderlicher und constanter Vergrösserung.

225. Arago hat das Rochon'sche Mikrometer vielfach bei seinen Beobachtungen benutzt, allein dabei die folgenden Uebelstände erkannt.

1) Der Achromatismus des Prismas konnte nicht immer für beide Bilder vollkommen sein; bei der Anwendung starker Vergrösserung wirkte dieser Umstand sogar störend auf die Genauigkeit der Messung.

2) Befand sich das Prisma sehr nahe an den Ocularlinsen, so wurden die geringsten Unvollkommenheiten bezüglich der Homogenëität der Krystalle oder der Bearbeitung der Flächen bedeutend vergrössert.

3) Es war überhaupt misslich, in das Fernrohr ein Stück einführen zu müssen, durch welches die Güte desselben jedenfalls beeinträchtigt würde.

Dies waren die Gründe, welche Arago [1]) veranlassten, das Doppelprisma p (Fig. 173) vor das Ocular des Fernrohrs zu setzen. Um dabei die Entfernung der Doppelbilder beliebig ändern zu können, richtete er die Vergrösserung des Oculars veränderlich ein, indem er die eine der beiden Ocularlinsen b mittels des Handgriffs d nach Bedürfniss verschob und, um die Grösse dieser Verschiebung genau angeben zu können, eine Scala $s\,s'$ ausserhalb des Rohres anbrachte. Das so vorgerichtete Mikrometer nennt Arago micromètre oculaire à grossissement variable.

226. Allein auch diese Einrichtung war nicht vollkommen befriedigend. Man musste nämlich nach jeder Verschiebung der Ocularlinse von neuem auf den Focus einstellen, und auch abgesehen davon war natürlich die grösste Wirkung des Doppeloculars blos bei einer ganz bestimmten Distanz der beiden Linsen vorhanden; endlich konnte das Mikrometer bei Ocularen mit einer einzigen Linse, welche freilich nur ganz selten gebraucht werden, gar nicht in Anwendung kommen.

Alle diese Uebelstände hat Arago durch eine andere Einrichtung seines Mikrometers, welches er in dieser Gestalt dann micromètre oculaire à grossissement constant nannte, beseitigt. Er stellte nämlich die Linsen des Oculars O (Fig. 174) ein- für allemal fest, d. h. er wendete eine constante Vergrösserung an. Dabei aber war vor dem Augendeckel des Oculars ein Rahmen $A\,B$ angebracht, welcher eine systematisch zusammengestellte Reihe von Doppelprismen aus Bergkrystall mit verschiedenen brechenden Winkeln trug und verschiebbar war, sodass je nach Bedürfniss das eine oder andere dieser Prismen zwischen das Ocular und das Auge des Beobachters gebracht werden konnte.

3. Doppelbildmikrometer mit Glasprismen und Planparallelgläsern.

227. Fast gleichzeitig, während Rochon sich mit der Construction seines Mikrometers beschäftigte, wurden auch von anderer Seite Versuche mit Prismen angestellt, welche jedoch nicht aus doppeltbrechenden Krystallen, sondern aus Glas bestanden.

Maskelyne [2]) schlug vor, ein Glasprisma von der Form $p\,p$ (Fig. 176)

---

1) Arago, Sur un micromètre oculaire à double réfraction: Comptes rendus de l'Académie de Paris, XXIV, 400. Poggendorff's Annalen der Physik, Bd. LXXI, S. 405. Arago, Astronomie populaire, Bd. II, S. 74 ff.

2) Maskelyne, Prismatic micrometer: Philos. Trans. of the Roy. Society of London für 1777, S. 799; übersetzt in M. Hell's Beiträgen zur praktischen Astronomie von L. A. Jungnitz (Breslau u. Hirschberg 1791—93).

zwischen das Objectiv und das Ocular des Fernrohrs zu bringen. Während nun die durch das Object $o\,o'$ eintretenden Strahlen, wenn das Prisma nicht vorhanden wäre, in dem Focus bei f vereinigt würden, wird dagegen durch das Prisma eine Theilung des Lichts in der Art bewirkt, dass man zwei Bilder bei f' und f'' erhält, deren Entfernung durch eine Verschiebung des Prismas nach der Länge der optischen Axe des Fernrohrs beliebig und messbar geändert werden kann.

228. Boscovich [1]) hat ein anderes hierher gehöriges Mikrometer angegeben [1]), auf welches J. Herschel in seiner Astronomie neuerdings aufmerksam gemacht hat. [2])

Man nimmt, um dieses Mikrometer zu erhalten, ein achromatisches (aus Flintglas und Crownglas zusammengesetztes) Glasprisma, dessen Flächen so nahe parallel sind, dass ein durch dasselbe hindurchgehender Lichtstrahl nur eine ganz geringe Ablenkung, beispeilsweise von 5 Minuten, erfährt. Dieses Prisma schneidet man in der Mitte aus einander und nimmt aus jeder Hälfte ein gleich grosses kreisrundes Stück heraus. Hierauf bringt man die so bearbeiteten Prismen mit einer geeigneten ringförmigen Fassung in der Art in Verbindung, dass sie concentrisch über einander liegen und das eine unabhängig vom andern gedreht werden kann; die Fassung muss dabei so eingerichtet werden, dass neben den Gläsern G (Fig. 175) noch ein Zwischenraum bis zum Ringe F vorhanden ist, durch welchen das Licht frei hindurchgehen kann.

Es ist nun klar, dass, wenn die Prismen eine solche gegenseitige Lage haben, dass die durch sie erzeugten Ablenkungen übereinstimmen, die ganze Ablenkung, welche ein durchgehender Lichtstrahl erfährt, doppelt so gross ist als die eines jeden einzelnen, in unserm Beispiele also 10 Minuten. Es wird dagegen gar keine Ablenkung stattfinden, wenn die Prismen die gerade entgegengesetzte Lage haben, d. h. das eine derselben um 180° gegen die vorige Lage gedreht ist. Bei jeder andern Drehung wird die Ablenkung einen Werth erhalten, welcher zwischen o und der doppelten Ablenkung eines einzelnen Prismas liegt und aus der Grösse der Drehung berechnet werden kann.

Bringt man nun die ganze Vorrichtung in den Lichtkegel eines Fernrohrobjectivs, sodass das Glas G gerade die Hälfte eines senkrechten Durchschnitts dieses Strahlenkegels einnimmt, so geht die Hälfte des Lichts unabgelenkt durch den Zwischenraum zwischen F und G hindurch; die andere

---

1) Boscovich, Account of a new micrometer and megameter: Philos. Trans. für 1777, Thl. II, S. 789. Auch in dessen Opera pertinentia ad opticam et astronomiam maxima ex parte nova et omnia hucusque inedita (Bassano 1785), Tom. II, Opusc. IV, p. 315.

2) J. Herschel, Outlines of astronomy (3. Aufl.), S. 122.

Hälfte des Lichts erfährt eine Ablenkung, welche durch die Drehung des einen Prismas gegen das andere genau messbar ist; man hat also auf diese Weise ein ganz einfaches Doppelbildmikrometer hergestellt.

229. Clausen [1]) schlug vor, zwischen das Objectiv und das Ocular und zwar in den gemeinsamen Brennpunkt beider zwei genau an einander passende, aus dem nämlichen Stücke geschnittene Planparallelgläser zu bringen. Stehen beide Gläser auf der optischen Axe senkrecht, sodass sie gleichsam nur eine einzige Platte bilden, so ist auch nur ein Bild eines betrachteten Objects vorhanden; erfährt aber, wie dies Fig. 178 zeigt, die eine der beiden Platten eine Drehung, so entsteht ein zweites Bild des Objects. Die Entfernung der beiden Bilder kann auch hier durch die Grösse der Drehung der einen Glasplatte messbar geändert werden.

Aehnliche Vorschläge wurden auch von Secchi [2]) und Baden Powell [3]) bekannt gemacht, jedoch ohne dass sie eine weitere Beachtung, soviel mir wenigstens bekannt ist, gefunden haben.

230. Lamont stellte Versuche mit einem Prisma von sehr grossem brechenden Winkel (Fig. 177) an, welches er, wie dies beim Maskelyne'schen Prismenmikrometer (§ 227) der Fall ist, zwischen dem Oculare und dem Objective nach der Länge der optischen Axe des Fernrohrs verschiebbar einrichtete. Bei Gelegenheit dieser Versuche, welche jedoch zu keinem befriedigenden Resultate führten, wurde Lamont auf einen Umstand aufmerksam [4]), durch den die Genauigkeit, welche mit allen bisherigen Doppelbildmikrometern zu erreichen ist, innerhalb bestimmter Grenzen eingeschlossen wird und worüber ich seine eigenen Worte anführen will.

„Wenn durch irgend eine Vorrichtung, welche eine Theilung des Lichts bewirkt, die Bilder zweier wenig von einander entfernter Sterne in einem Focus vereinigt werden, so kommen die beiden Strahlenkegel unter einem sehr spitzen Winkel zusammen, trennen sich aber hinter dem Focus wieder, um, nachdem sie durch verschiedene Kugelflächen (wozu auch das Auge gehört) gegangen sind, zuletzt auf der Netzhaut nochmals in einem Punkte, aber unter minder spitzem Winkel sich zu vereinigen. Wenn zwei Strahlenkegel unter einem Winkel zusammenkommen, so ist es offenbar, dass die Vereinigung in einem Punkte nur bei einer bestimmten Entfernung der Netzhaut vom Focus stattfinden kann, und dass, wenn der Netzhaut eine auch nur etwas Weniges nähere oder entferntere Stellung gegeben

---

1) Clausen, Ueber ein neues Doppelmikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. XVIII, Nr. 414.

2) Secchi, Sur un nouveau système de micromètres pour les lunettes astronomiques: Comptes rendus de l'Académie de Paris, XLI, 906.

3) B. Powell, Nouveau micromètre a double image: L'Institut, Nr. 648, S. 180.

4) Lamont, Jahresbericht der münchner Sternwarte für 1858, S. 10.

wird, was ohne besondern Nachtheil für die Präcision geschehen kann, die Bilder aus einander treten werden. Richtige Messung von Doppelbildern setzt demnach eine immer gleiche Stellung des Auges gegen das Ocular voraus, eine Bedingung, die in der Praxis wohl nur annäherungsweise erfüllt wird und erfüllt werden kann.

Auch' bei Heliometern tritt dasselbe Verhältniss ein und damit hängt der Umstand zusammen, dass besonders, wenn es sich um die Messung grösserer Distanzen handelt, verschiedene Beobachter verschieden einstellen."

Achter Abschnitt.

Von den Collimatoren und dem künstlichen Horizonte.

231. Die Kreise, von denen in Abschnitt II näher gehandelt wurde, werden senkrecht gegen die Axenbewegung und so genau als möglich concentrisch mit derselben auf die Instrumente aufgesetzt; dabei kann jedoch in der Praxis der Nullpunkt der Theilung nicht ganz genau an eine bestimmte Stelle gebracht werden. Es ist deshalb nach § 6 der Einleitung nöthig, entweder den Nullpunkt — eigentlich denjenigen Punkt, von welchem aus die Messungen gerechnet werden sollen — durch die Beobachtungsmethoden zu eliminiren oder diesen Punkt an den Kreisen genau zu bestimmen.

Bei den verticalen Kreisen nun wird die Bestimmung dieses Punktes — des Zenithpunktes — mittels eigener Hülfsvorrichtungen vorgenommen, welche man Collimatoren nennt, weil mit ihnen meistentheils zugleich der Collimationsfehler des Fernrohrs, d. h. die Abweichung von der senkrechten Stellung der optischen Axe desselben gegen die Rotationsaxe des Instruments, bestimmt wird.

Im Folgenden sollen die wichtigsten dieser Hülfsvorrichtungen näher betrachtet werden.

I. Kater's schwimmende Collimatoren.

232. Kapitän Kater hat zwei Collimatorapparate angegeben, welchen der von Gauss [1]) wahrgenommene Umstand zu Grunde liegt, dass man das

---

1) Gauss, Neue Methode, die gegenseitigen Abstände der Fäden in Meridianfernrohren zu bestimmen: Astronomische Nachrichten, Bd. II, Nr. 43. Bohnenberger führt an (Astronomische Nachrichten, Bd. IV, Nr. 89), dass der genannte Umstand schon im Jahre 1769 von Lambert in einem Briefe an Brander erwähnt wird; jedenfalls aber ist es Gauss, der ihm für die praktische Astronomie seine wahre Bedeutung gab.

Fadenkreuz eines Fernrohrs durch das Objectiv desselben mittels eines zweiten Fernrohrs sehen kann, und bei welchen die eigentliche Collimatoreinrichtung, um eine genau horizontale oder verticale Stellung zu erhalten, auf einer Quecksilberfläche schwimmt.

a. Der horizontale Collimator.

233. Der horizontale Collimator von Kater [1]) besteht aus einer Eisenplatte AB (Fig. 45), auf welcher zwei Lager M, M befestigt sind; auf diese Lager ist ein Fernrohr F gesetzt, welches kein Ocular, wohl aber ein Fadenkreuz besitzt. Der ganze Apparat wird in ein Gefäss mit Quecksilber gebracht und senkt sich bei ganz symmetrischer Construction so in dasselbe ein, dass das Fernrohr F genau horizontal steht. Damit hierbei keine Drehung (Abweichung nach rechts oder links) stattfinden kann, sind an der Platte AB die Ansätze a, a befestigt, welche in verticalen Rinnen laufen. Um Luftströmungen so viel als möglich abzuhalten, wird über das Ganze ein Kasten gesetzt, welcher dem Objective und dem Ocularende des Fernrohrs F gegenüber mit einem Planparallelglase geschlossen ist.

Wird nun dieser Collimator so vor das Instrument, dessen Collimationsfehler bestimmt werden soll, gebracht, dass beide Objective einander zugewendet sind, so sieht man durch das Fernrohr des Instruments das Fadenkreuz des Collimators und kann diesen so stellen, dass die verticalen Mittelfäden sich decken. Kehrt man sodann das Instrument um, so sollten die Mittelfäden wieder coincidiren, falls kein Collimationsfehler vorhanden ist; die Abweichung von dieser Coincidenz gibt den doppelten Fehler.

Hätte man vollkommene Gewissheit, dass das Collimatorfernrohr genau horizontal steht, so wäre durch Einstellen der horizontalen Fäden beider Fernrohre auf einander der Punkt des Horizonts am Kreise und also der um 90° entfernte Zenithpunkt unmittelbar gegeben. Allein man erhält denselben gleichfalls durch Rechnung, wenn man bei entgegengesetzter Lage des Kreises die horizontalen Fäden des Fernrohrs am Instrumente und des Collimatorfernrohrs coincidiren lässt und die entsprechenden Ablesungen am Kreise vornimmt.

b. Der verticale Collimator.

234. Mit dem verticalen Collimator von Kater [2]) wird ebenfalls der Zenithpunkt des Kreises nicht unmittelbar erhalten, sondern der um 180°

---

1) Kater, Description of a floating collimator: Philos. Trans., 1825, I, 147.

2) Kater, A description of a vertical floating collimator: Philos. Trans., 1828, II, 257 ff.

davon abstehende Nadirpunkt. Das Wesentliche dieses Apparats ist in Fig. 46 dargestellt.

An einem Fernrohre F sind zwei Arme e, e befestigt, welche rechtwinklig umgebogen sind und an ihren Enden die Eisenstücke s, s tragen. Diese Stücke schwimmen auf dem Quecksilber $Q\,Q$, das sich in dem cylindrischen Gefässe $A\,B\,C\,D$ befindet, welches eine ringförmige Rinne bildet, durch deren innere Höhlung $W\,W$ das Collimatorfernrohr F hindurchgeht. Wenn die beiden an diesem Fernrohre angebrachten Schwimmer symmetrisch construirt sind, so soll sich dasselbe entweder genau senkrecht oder doch jedesmal wenigstens unter einer ganz geringen Neigung einstellen. Das Fernrohr besitzt am obern Ende ein Objectiv, in dessen Focus sich ein Fadenkreuz befindet, aber kein Ocular.

Bringt man nun den so eingerichteten Collimator unter das Fernrohr, für welches der Collimationsfehler und der Nadirpunkt des mit ihm verbundenen Kreises bestimmt werden sollen, so sieht man durch das Ocular des letztern Fernrohrs zugleich die Fadennetze der beiden Fernrohre und kann also die genannten Grössen bestimmen. Dabei ist es immer nöthig, mehrere Beobachtungen vorzunehmen, zwischen welchen der Collimator um 180° gedreht wird, um die Ungleichheiten bezüglich der nicht genau symmetrischen Construction der Schwimmer und der schon hieraus folgenden, sowie auch aus andern Ursachen hervorgehenden Abweichungen von der genau senkrechten Stellung des Collimatorfernrohrs eliminiren zu können. Es ist noch zu bemerken, dass, wenn die Fäden deutlich gesehen werden sollen, unter dem Collimatorfernrohr ein geeigneter Spiegel zur Beleuchtung aufgestellt werden muss.

II. Collimatoren mit Libellen.

235. Einige Unsicherheit für die genaue Einstellung bewirken bei den Kater'schen Instrumenten die Schwankungen des schwimmenden Körpers, welche nie vollständig vermieden werden können. Es sind deshalb mehrere Collimatorapparate angegeben worden, bei welchen die genaue horizontale oder verticale Stellung mittels Libellen zu Stande gebracht wird.

a. Horizontale Collimatoren.

236. So hat Schumacher [1]) von Repsold für die altonaer Sternwarte einen Collimator anfertigen lassen, bei welchem das Fernrohr mittels einer Libelle genau horizontal gestellt wird. Man hat diesen Collimator, wenn

1) H. C. Schumacher, Bestimmung der Durchbiegung des Meridiankreises der altonaer Sternwarte: Astronomische Nachrichten, Bd. XLIV, Nr. 1033.

man ein cylindrisches Fernrohr in die Lager $L\,L$ (Fig. 104) an die Stelle der horizontalen Axe $A\,A$ legt. Ueber das von Schumacher gebrauchte Fernrohr waren zwei Hohlcylinder geschoben, welche aussen genau gleich dick abgedreht sind und eben auf den Lagern $L\,L$ aufliegen. Auf diese Cylinder werden dann die Füsse einer sehr empfindlichen Libelle aufgesetzt und die Fussschrauben des Gestells $M\,M$ so lange geändert, bis die Libelle einspielt, d. h. das Fernrohr genau horizontal steht. Der ganze Collimator wird vor das Instrument, für welches er gebraucht wird, in der Art gestellt, dass das Fernrohr in gleicher Höhe mit dem Fernrohre des Instruments bei horizontaler Lage steht; ferner sind die beiden Objective einander zugewendet, und da das Collimatorfernrohr ein Fadenkreuz besitzt, so kann man die Beobachtungen wie oben (§ 233) vornehmen. Damit das Fadenkreuz des Collimatorfernrohrs auch bei Nacht gesehen werden kann, ist hinter dem Ocularende desselben — ein Ocular besitzt es nicht — eine Lampe angebracht.

237. Struve [1]) hat bei den pulkowaer Meridianinstrumenten die Collimatoren auf isolirten Steinpfeilern unveränderlich aufstellen lassen. Fig. 51 zeigt die Collimatoreinrichtung, wie sie sich bei dem Repsold'schen Meridiankreise befindet. Auf dem Steinpfeiler P sind zunächst zwei Lager a und a' befestigt, in welchen das Fernrohr $F\,F$ liegt, über das wie bei der vorigen Einrichtung zwei Hohlcylinder geschoben sind, welche genau cylindrisch und gleich dick abgedreht sind und welche die auf den Lagern a und a' aufliegenden Theile des Fernrohrs bilden. Auf diese cylindrischen Stellen des Fernrohrs sind dann die Füsse einer sehr empfindlichen Libelle $L\,L$ aufgesetzt; es kann mittels dieser, da die Lager a, a' eine Correction nach Höhe und Azimut erlauben, die optische Axe des Fernrohrs genau horizontal gestellt werden. Dieses befindet sich ferner genau in gleicher Höhe mit dem Cubus der horizontalen Axe des Meridianfernrohrs und besitzt ein Fadenkreuz, dessen Stellung mittels vier Schräubchen etwas corrigirt werden kann.

Zur Bestimmung des Fehlers der optischen Axe dient ein zweites Fernrohr $F'\,F'$, welches eine horizontale Axe trägt, die in zwei an den Stützen M angebrachten Lagern läuft und mittels einer Libelle l adjustirt werden kann. Die Stützen M sind nämlich mit einer ebenen Platte fest verbunden, welche mittels dreier Fussschrauben auf dem Steinpfeiler P aufsitzt. Die Axe trägt auch einen getheilten Kreis k, k, k, k, das Ganze ist also ein kleines Passageninstrument.

Bei dem Ertel'schen Meridianinstrumente der pulkowaer Sternwarte [2]) ist das untere Fernrohr $F\,F$ durch eine Meridianmire ersetzt, welche einfach aus einem nicht achromatischen Objective und einem in dessen Focus

1) Struve, Description etc., S. 155.
2) Struve, a. a. O., S. 125.

befindlichen, aus Metallblech bestehenden Diaphragma mit einem kleinen kreisrunden Loche besteht.

Solche fixe Collimatorapparate sind nun bei den Meridianinstrumenten im Norden und Süden derselben und zwar genau in gleicher Höhe aufgestellt; es wird durch diese Einrichtung das Umlegen des Instruments überflüssig.

b. Lamont's verticaler Collimator.

238. Lamont [1]) construirte einen verticalen Collimator, bei welchem das Fernrohr ebenfalls mittels einer Libelle senkrecht gestellt wird und welcher in Fig. 47 dargestellt ist.

Das Collimatorfernrohr F trägt unter seinem Objective zwei Arme c, d, welche unten mit Spitzen versehen sind; diese Spitzen sitzen auf dem Ringe $b\,b$ auf, welcher in einem zweiten Ringe $a\,a$ gedreht werden kann. Es ist ausserdem noch eine Libelle ef parallel mit den Spitzen an den Armen c, d angebracht, mittels welcher die genau senkrechte Stellung des Fernrohrs erkannt wird. Der Ring $a\,a$ ruht auf einem eisernen Dreiecke, welches zwischen die beiden Steinpfeiler des Meridianinstruments gebracht wird. Das Fernrohr hat wieder, wie dies beim Kater'schen Collimator der Fall ist, kein Ocular, aber ein Fadenkreuz, welches durch den geneigten Spiegel S erleuchtet wird.

Ist das Fernrohr durch die drei Schrauben A, B, C genau senkrecht gestellt, d. h. der Ring $a\,a$ genau horizontal, so kann die genaue Einstellung auf die Coincidenz der Fäden für die Bestimmung des Nadirpunktes bei dieser Einrichtung in doppelter Weise bewerkstelligt werden: entweder durch eine Bewegung des Meridianfernrohrs oder der Stellschraube A, welche der Beobachter mittels eines langen Schlüssels n, während er zugleich in das Fernrohr sieht, drehen kann. Um die Abweichungen von der genau symmetrischen Construction der beiden Arme c, d, sowie den Einfluss der allenfalls mit der Verbindungslinie der beiden Spitzen nicht ganz genau parallelen Stellung der Libellenröhre eliminiren zu können, müssen zwei Beobachtungen angestellt werden, zwischen welchen der Ring $b\,b$ um 180° gedreht wird, sodass dasjenige Ende der Libelle, welches das erste Mal nach Norden gerichtet war, das zweite Mal nach Süden steht.

Mittels dieses Apparats kann man auch den Collimationsfehler oder eigentlich, wenn die horizontale Stellung der Rotationsaxe nicht schon vorher berichtigt ist, die Summe der Fehler der optischen und der Rotationsaxe, d. h. die östliche oder westliche Abweichung des Mittelfadens von der Verticallinie bestimmen. Man hat dabei den Ring $b\,b$ so zu drehen, dass die Libelle von Osten nach Westen gerichtet ist, und nimmt in diesem

---

1) Lamont, Jahresbericht der münchner Sternwarte für 1852, S. 27.

Falle die genaue Einstellung auf die Coincidenz der Fäden an der Stellschraube C mittels des Schlüssels m vor.

Der Lamont'sche Collimator leidet an zwei Uebelständen. Der erste besteht darin, dass, sowie sich die Beleuchtung durch den Spiegel S ändert, auch die Mitte der Fäden ihre Stellung zu verändern scheint. Der zweite Uebelstand, welcher auf alle Collimatoreinrichtungen Bezug hat, bei denen die Herstellung der horizontalen oder verticalen Stellung des Fernrohrs mittels Libellen bewerkstelligt wird, besteht in der Unsicherheit der Libellenablesungen, auf welche bereits bei einer frühern Gelegenheit (§ 176) hingewiesen wurde.

III. Collimatoreinrichtungen mit künstlichem Horizonte.

a. Die Bohnenberger'sche Methode.

239. Wenn man senkrecht gegen die optische Axe eines mit einem Fadenkreuze versehenen Fernrohrs einen ebenen Spiegel stellt, so wird das von dem Fadenkreuze ausgehende Licht nach dem Austritte aus dem Objective parallel und senkrecht auf den Spiegel auffallen, in derselben Richtung wieder reflectirt und durch das Objectiv sodann an der nämlichen Stelle wieder vereinigt, von welcher es ausgegangen ist.

Steht dagegen der Spiegel nicht ganz genau senkrecht auf der optischen Axe des Fernrohrs, so fallen die aus dem Objective austretenden Lichtstrahlen nicht genau senkrecht auf den Spiegel auf, die Strahlen werden also auch unter einem Winkel reflectirt und durch das Objectiv in einem Punkte vereinigt, welcher nicht mit dem Ausgangspunkte zusammenfällt — es wird neben dem Fadenkreuze ein Bild desselben entstehen. Man kann dann, wenn man durch das Ocular das Fadenkreuz und sein Bild betrachtet, aus der Entfernung beider auf die Grösse der Abweichung von der senkrechten Stellung der optischen Axe des Fernrohrs gegen die Spiegelebene schliessen und diese Lage dadurch herstellen, dass man das Fernrohr so lange bewegt, bis das Fadenkreuz und sein Bild coincidiren.

240. Die angeführten Umstände nun hat Bohnenberger [1]) benutzt, um den Nadirpunkt verticaler Kreise und die Fehler der optischen und der Rotationsaxe bei den Meridianinstrumenten zu bestimmen. Als ebenen Spiegel gebrauchte er einen künstlichen Horizont, d. h. die Oberfläche einer freien Flüssigkeit (vgl. § 244), wobei der grosse Vortheil erzielt wird, dass

---

1) Bohnenberger, Neue Methode, den Indexfehler eines Höhenkreises zu bestimmen und die Horizontalaxe der Mittagsfernröhre zu berichtigen ohne Loth und Libelle: Astronomische Nachrichten, Bd. IV, Nr. 89.

diese immer wieder von selbst die genau ebene und horizontale Lage annimmt.

Stellt man nun einen solchen künstlichen Horizont unter das Meridianfernrohr und kehrt dessen Objectiv nach unten, so wird man durch das Ocular das Fadenkreuz und sein vom künstlichen Horizonte reflectirtes Bild wahrnehmen. Dreht man dann das Fernrohr so lange, bis die Horizontalfäden, d. h. die in der Richtung des Weges der Sterne liegenden Fäden mit ihrem Bilde coincidiren, so steht die optische Axe des Fernrohrs senkrecht auf der Flüssigkeitsoberfläche und, weil diese horizontal ist, genau vertical, sodass man dadurch den Nadirpunkt am Kreise unmittelbar erhält.

Coincidiren hierbei auch zugleich die verticalen Fäden, an welchen die Sterndurchgänge beobachtet werden, mit ihrem Bilde, so steht die optische Axe des Fernrohrs senkrecht auf der Rotationsaxe und diese selbst horizontal; findet die Coincidenz nicht statt, so gibt die Entfernung der Fäden und ihres Bildes die doppelte Summe der Fehler der Rotations- und der optischen Axe.

241. Um bei diesen Beobachtungen die Fäden und ihre Bilder deutlich sehen zu können, muss man Licht in das Fernrohr bringen. Bohnenberger selbst hat vorgeschlagen, zu diesem Behufe in der Ocularröhre eine kleine Seitenöffnung anzubringen und durch dieselbe eine geneigte Spiegelfläche einzuschieben, welche das von aussen kommende Licht gegen die Fäden reflectirt. Diese Spiegelfläche darf nicht ganz die Hälfte des Gesichtsfeldes bedecken, und man sieht dann die nicht bedeckte Hälfte der Fäden und das Bild der bedeckten Hälfte derselben; man kann also die Coincidenz bewerkstelligen.

Auch ein unbelegtes Planparallelglas wurde unter einer Neigung vor das Ocular gebracht [1]); das von aussen kommende Licht wird durch dasselbe in das Fernrohr reflectirt und die Beobachtung der Fäden und ihrer Bilder wegen der parallelen Planfläche des Glases nicht gehindert. Ferner ist ein kleines Prisma, welches die Hälfte des Oculars bedeckte, zur Beleuchtung vor das Ocular gebracht worden. Allein bei diesen Einrichtungen sieht man ein ganz helles und weisses Bild, während dasselbe doch dunkel erscheinen sollte. Es wird nämlich hierbei das von aussen kommende Licht durch die Linsen des Oculars zu einem Strahlenkegel vereinigt und fällt demnach schief auf die Fäden auf; man sieht blos eine beleuchtete Seite derselben, und eine ganz sichere Einstellung ist auf diesem Wege nicht zu erlangen.

242. Man kann übrigens den angeführten Uebelstand durch die folgende, im Wesentlichen von Gauss [2]) herrührende Einrichtung beseitigen.

---

1) Lamont, a. a. O., S. 27.

2) Gauss, Astronomische Nachrichten, Bd. XXV, Nr. 579.

Man entfernt nämlich das Ocular des Fernrohrs gänzlich und schraubt an das Ocularende die Vorrichtung, welche Fig. 49 darstellt, mittels einer Schraube S an. Diese Vorrichtung besteht aus einem halben Messingrohre O, auf dem die Platte F befestigt ist, durch welche das Röhrchen RR hindurchgeht; im Innern des Rohres ist ein geneigtes Planparallelglas P angebracht, durch welches die von aussen kommenden Lichtstrahlen parallel auf die Fäden reflectirt werden. Bringt man nun in das Röhrchen RR ein Ocular, so sieht man die Fäden und ihr Bild vollkommen scharf und dunkel, allein man hat dabei den Uebelstand, dass man ein Ocular von beträchtlicher Brennweite, also sehr geringer Vergrösserung anwenden muss, um noch das geneigte Glas zwischen dasselbe und die Fäden bringen zu können. Dieser Uebelstand wird übrigens gänzlich beseitigt, wenn man durch das Röhrchen RR ein Mikroskop steckt. Nimmt man hierbei ein mikrometrisches Mikroskop, so lässt sich damit auch eine sehr genaue Messung der relativen Fädendistanzen vornehmen.

243. Ein weiteres Hülfsmittel zur Beleuchtung ist das von Lamont [1]) angegebene Collimationsocular. Bei dieser Vorrichtung (Fig. 48), welche an die Stelle des eigentlichen Oculars am Fernrohre gebracht wird, ist der Raum, welchen die gewöhnlichen Ocularlinsen einnehmen, in zwei gleiche Theile getheilt; an der einen Hälfte befindet sich eine Glasplatte, an der andern ein kleines Ocular C. Ausserdem ist ein drehbarer Spiegel E angebracht, welcher das von aussen kommende Licht durch die Glasplatte hindurch auf die Fäden reflectirt. Bringt man dann den künstlichen Horizont unter das Fernrohr, so sieht man bei dieser Einrichtung nicht das Bild der durch das kleine Ocular C gesehenen Hälfte der Fäden, sondern der Verlängerung derselben; es wird also nicht der Faden mit seinem Bilde, sondern mit dem Bilde seiner Verlängerung zur Coincidenz gebracht.

Die Platte pq ist drehbar eingerichtet, um auch wieder die östliche oder westliche Abweichung der Fäden, an welchen die Sterndurchgänge beobachtet werden, von der Verticalen bestimmen zu können.

b. Der künstliche Horizont.

244. Der künstliche Horizont, welcher bei den vorhergehenden Collimatoreinrichtungen erforderlich ist und dabei unabhängig vom Fussboden des Beobachtungslokals aufgestellt werden muss, besteht aus einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefässe; die Oberfläche dieser Flüssigkeit bildet nach den ersten Sätzen der Hydrostatik eine Horizontalfläche. Als Flüssigkeit wurde hierbei am häufigsten Quecksilber, seltener Oel gebraucht; Bessel hat auch Wasser angewendet, welches er zu diesem Zwecke dunkel färbte.

Hinsichtlich der Tiefe des Quecksilbers, welches als die geeignetste

---

1) Lamont, a. a. O., S. 29.

Flüssigkeit gegenwärtig allgemein gebraucht wird, im Gefässe ist zu bemerken, dass eine geringe Tiefe deshalb vorzuziehen ist, weil die unvermeidlichen Wellen, welche auf die Präcision des reflectirten Bildes einen wesentlichen Einfluss haben, dabei schneller vorübergehen als bei grösserer Tiefe, da die Grösse und Dauer dieser Wellen im geraden Verhältnisse zur Tiefe der Flüssigkeit steht.

Lamont [1]) hat ferner durch directe Versuche gefunden, dass die Horizontalität der Oberfläche selbst bei ganz geringer Tiefe nicht verloren geht, und gebraucht deshalb blos eine mit Quecksilber angequickte Messingplatte (Fig. 50), die mit einem eisernen Ringe umgeben ist, welcher jedoch nicht über die Platte hervorsteht. Bei dieser Einrichtung wird dann blos so viel Quecksilber auf die Platte gegossen, als durch Adhäsion an derselben gehalten wird; das überflüssige Quecksilber, sowie eine allenfalls vorhandene Oxydschicht wird mittels eines Glasstäbchens abgestrichen.

245. Einen entschiedenen Einfluss auf die Horizontalität der Quecksilberfläche kann die Wärme ausüben. Ist nämlich die Temperatur der Platte z. B. im Süden höher als im Norden, so hat das Quecksilber an der wärmern Stelle, da es daselbst specifisch leichter ist, zur Erhaltung des Gleichgewichts eine grössere Tiefe nöthig als an der kältern; ist hierbei die Temperaturabnahme von Süden nach Norden gleichmässig, so wird die Oberfläche des Quecksilbers zwar vollkommen eben, aber gegen den wahren Horizont geneigt sein.

Lamont hat gefunden, dass diese Neigung bis auf 8 Secunden gehen kann. Der hierdurch entstehende Fehler kann übrigens eliminirt werden, wenn man eine zweite Beobachtung anstellt, nachdem die Platte um 180° gedreht wurde; dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass diese Drehung und die Messung so rasch geschehen, dass die verschiedene Temperatur im Norden und Süden — der Temperaturunterschied ist ohnedies in der Wirklichkeit nur sehr gering — sich während dieser Zeit der Platte nicht mittheilen kann.

246. Der künstliche Horizont wird aber nicht allein zu dem oben angeführten Zwecke gebraucht, er dient auch dazu, das reflectirte Bild eines Gestirns zu beobachten, wie dies z. B. bei der Anwendung des Spiegelsextanten auf dem Lande vorkommt. Es sind zu diesem letztern Behufe einige eigenthümliche Einrichtungen in Anwendung gebracht worden, welche zum Schlusse dieses Abschnitts noch angeführt werden sollen.

Eine solche Einrichtung besteht in einem gewöhnlichen Quecksilber- oder Glashorizonte [2]), welcher zum Schutze gegen Luftströmungen mit einem Dache versehen wird, das aus zwei Platten von Marienglas (Glimmer) oder auch von gewöhnlichem Glase besteht. In diesem Falle müssen die Flächen

1) Lamont, a. a. O., S. 30.

2) Sawitsch, Praktische Astronomie, II, 346.

der beiden Platten genau eben und unter sich parallel sein, damit die Richtung der Lichtstrahlen beim Durchgange durch das Glas nicht geändert wird. Auch eine einfache ebene Glasplatte, welche auf der Rückseite geschwärzt oder matt geschliffen ist, wurde verwendet [1]); diese ruht dann auf einer Unterlage, welche drei Stellschrauben trägt und so ein Horizontalstellen der obern Fläche des Glases mittels einer Libelle gestattet. Es ist hierbei nur nöthig, dass die obere Seite des Glases genau eben ist; dagegen ist es nicht erforderlich, dass dieselbe mit der Rückseite auch parallel ist, weil die letztere, da sie matt geschliffen oder geschwärzt ist, nur ganz wenig Licht reflectirt. Anstatt des gewöhnlichen weissen Spiegelglases wurde auch roth, blau oder grün gefärbtes und an der Rückseite matt geschliffenes Glas in Anwendung gebracht.

---

1) Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, I, 273.

Neunter Abschnitt.

Die ganzen Instrumente.

247. Aus den in den vorhergehenden Abschnitten behandelten Theilen lassen sich nun alle in der Einleitung benannten astronomischen Instrumente zusammensetzen. Die einzelnen Theile sind aber selbst wieder, wie wir gesehen haben, von den verschiedenen Künstlern sehr verschiedenartig ausgeführt worden; es wurden sogar zur Erlangung des nämlichen Zweckes ganz verschiedene Wege eingeschlagen.

Eine detaillirte Beschreibung der ganzen Instrumente zu geben, kann deshalb in diesem Abschnitte nicht beabsichtigt werden; sie würde blos eine Recapitulation des bereits behandelten Materials unter anderer Form sein. Es sollen vielmehr in diesem Abschnitte blos die wesentlichen Bestandtheile der einzelnen Instrumente unter Hinweisung auf die vorhergehenden Abschnitte angeführt und namentlich auch die wichtigste Literatur über ganze Instrumente gegeben werden. [1])

248. Man kann die astronomischen Instrumente nach § 3 der Einleitung in feststehende und transportable Instrumente eintheilen.

Die Aufstellung der erstern Klasse von Instrumenten muss unabhängig vom Fundamente des Gebäudes geschehen. Es sind zu diesem Zwecke bei den Sternwarten Mauern aufgeführt, welche ganz isolirt von dem übrigen Mauerwerke des Gebäudes durch das Souterrain desselben hindurchgehen und auf welche zuletzt Granit- oder Sandsteinpfeiler aufgesetzt sind, an denen

---

1) Der Gebrauch und die Berichtigung der Instrumente durch die Beobachtung gehört nicht hierher; ich verweise in dieser Beziehung auf Brünnow's vortreffliches Lehrbuch der sphärischen Astronomie und bezüglich der transportablen Instrumente auf Sawitsch' Praktische Astronomie.

die Unterlagen für die Instrumente befestigt werden. Die Grundmauern für diese Pfeiler sind häufig aus Backsteinen aufgeführt und mit Durchzügen versehen, damit sie möglichst vollständig austrocknen und dem Witterungswechsel so wenig als möglich unterworfen sind. Werden andere Steine verwendet, so wird darauf Rücksicht genommen, dass die Schichten derselben parallel sind und horizontal gelegt werden.

Der Fussboden des Beobachtungslokals darf dabei mit den Steinpfeilern nicht in Berührung stehen; derselbe wird deshalb so ausgeschnitten, dass die Pfeiler durch ihn frei, d. h. so, dass noch ein kleiner Zwischenraum bleibt, hindurchgehen.

249. Die transportablen Instrumente können, wenn sie an fixen Observatorien gebraucht werden, ebenfalls auf solchen isolirten Steinpfeilern aufgestellt werden. Gebraucht man dieselben dagegen auf der Reise, so werden sie in der Regel auf einem Dreifusse aufgestellt. Die Füsse A, B, C (Fig. 181) eines solchen Dreifusses sind gewöhnlich aus sehr trockenem, starkem Holze oder auch aus Eisen verfertigt und auf Charnieren a, b beweglich, welche mit der Platte P verbunden sind, auf die das Instrument gestellt wird. Die Enden der Füsse A, B, C bilden Spitzen, welche in den Boden eindringen. Die Platte P hat dabei häufig in der Mitte ein Loch, durch welches ein an dem Instrumente angebrachter Haken hindurchgeht, an den ein Loth gehängt wird, um den Aufstellungspunkt des Instruments fixiren zu können. Das Instrument oder eigentlich seine konisch zugespitzten Fussschrauben (vgl. § 16) ruhen dann auf runden Messingscheibchen, die auf die Platte P gelegt sind und in der Mitte konische Vertiefungen besitzen, in welche die Spitzen der Fussschrauben eingesetzt werden.

Lamont [1]) hat bei dem Stative seines magnetischen Reisetheodoliten die Füsse A, B, C (Fig. 182) aus starken Messingröhren zusammengesetzt und dieselben mit einem messingenen Dreiecke verbunden, auf welches der Theodolit gestellt wird. Die Füsse sind hier ebenfalls in Charnieren beweglich, welche, wenn das Stativ aufgestellt ist, durch das Anziehen der Schräubchen c, c, c .. festgestellt werden können. Das Instrument wird dabei in der Art auf das Dreieck aufgesetzt, dass die Spitze der einen Fussschraube in eine konische Vertiefung bei a, die Spitze der zweiten Fussschraube in eine kleine Rinne oder Kerbe bei b gebracht wird, die dritte Fussschraube dagegen einfach auf der Fläche bei d aufruht.

250. Wir wollen nun zu den einzelnen Instrumenten übergehen und dieselben bei der folgenden Betrachtung in drei Klassen eintheilen, nämlich:

I. Instrumente mit horizontalen Axen, wozu
1) die Meridianinstrumente und
2) die Instrumente im ersten Verticale gehören;

---

1) Lamont, Untersuchungen über die Richtung und Stärke des Erdmagnetismus im südwestlichen Europa, Einleitung, S. 20.

II. Instrumente mit parallaktischer Aufstellung — Aequatoreale;
III. Instrumente für Höhe und Azimut, wozu die transportablen Instrumente gehören.

I. Instrumente mit horizontalen Axen.

251. Bei diesen Instrumenten ist mit einer horizontalen Axe ein auf derselben senkrecht stehendes Fernrohr verbunden. Dieses Fernrohr kann also je nach der Aufstellung der Axe in einer hierdurch bestimmten Verticalebene bewegt werden; bisher wurden jedoch blos in zwei Verticalen solche Instrumente aufgestellt, nämlich im Meridiane und im ersten Verticale.

Vgl. hierzu § 17—30; Abschnitt III; § 118, 124, 131, 135, 136, 139—146, 153, 154, 169, 170.

1. Die Meridianinstrumente.

252. Bei den Meridianinstrumenten wird das an der horizontalen Axe befestigte Fernrohr oder eigentlich der verticale Mittelfaden seines Fadennetzes genau im Meridiane aufgestellt. Man hat dabei zwei Klassen von Meridianinstrumenten zu unterscheiden, je nachdem mit denselben blos die gerade Aufsteigung der Sterne oder ausserdem auch noch die Declination derselben bestimmt werden kann. Die Instrumente der ersten Klasse heissen Passagen- oder Durchgangsinstrumente, weil mit ihnen die Durchgänge der Sterne über den Meridian beobachtet werden und daraus die gerade Aufsteigung abgeleitet wird; die Instrumente der zweiten Klasse zerfallen wieder in zwei verschiedene Arten: die Meridiankreise und die Mauerkreise.

a) Das Durchgangs- oder Passageninstrument.

253. Dieses Instrument besteht einfach aus der horizontalen Axe, deren Lager an zwei Steinpfeilern befestigt sind, und dem auf der Axe senkrecht stehenden, in der Ebene des Meridians beweglichen Fernrohre. Damit jedoch dasselbe schon im voraus auf einen bestimmten Stern annähernd, d. h. so, dass der Stern doch wenigstens im Gesichtsfelde des Fernrohrs erscheint, eingestellt werden kann, ist gewöhnlich am einen Ende der Axe ein kleiner getheilter Kreis (Abschnitt II) angebracht; besser ist es dagegen (vgl. § 30 und § 135), an beiden Enden der Axe kleine Kreise anzubringen, wie dies Fig. 6 zeigt. Diese Figur stellt das grosse Passageninstrument von Ertel in Pulkowa dar. Das Fernrohr erscheint in der Figur auf den Cubus CC der horizontalen Axe projicirt. Die wirklichen Dimensionen dieses Instruments sind nach v. Struve die folgenden:

Ganze Länge der Axe 46,5 par. Zoll;
Durchmesser der Kreise 18,8 par. Zoll;
Oeffnung des Fernrohrobjectivs 5,85 par. Zoll;
Focaldistanz desselben 8 Fuss 6 Zoll.

Bei den meisten grössern Durchgangsinstrumenten hat jedoch das Fernrohr blos eine Focaldistanz von etwa 5—6 Fuss.

254. Anstatt an den Enden der Axe sind jedoch auch bei einigen Passageninstrumenten die Aufsuchekreise KK (Fig. 179) an dem Ocularende des Fernrohrs F angebracht worden, und es wird dabei die Grösse der Drehung mittels einer Libelle ll bestimmt, welche um den Mittelpunkt des Kreises drehbar und mit welcher ein Alhidadenarm a fest verbunden ist.

Es bezeichne nämlich mn (Fig. 180) die optische Axe des Fernrohrs, welche um den Punkt n drehbar ist; steht dieselbe horizontal und dreht man die Libelle um c so lange (nach ab), bis ihre Blase genau in der Mitte einspielt, so gibt der mit der Libelle fest verbundene Index (oder Vernier) denjenigen Punkt am Kreise an, bei welchem das Fernrohr horizontal steht. Dreht man nun das Fernrohr, sodass seine optische Axe z. B. in die Richtung no fällt, so muss man, wie dies aus der Figur unmittelbar ersichtlich ist, die Libelle, wenn deren Blase wieder in der Mitte einspielen soll, und den mit ihr verbundenen Index um den gleichen Winkel und den Mittelpunkt c des Kreises drehen, um welchen die optische Axe des Fernrohrs gedreht wurde. Man hat also nur nöthig, die Libelle jedesmal so lange zu drehen, bis ihre Blase in der Mitte einspielt, so wird der mit ihr verbundene Index unmittelbar die Grösse der Drehung des Fernrohrs angeben.

Es ist klar, dass man diesem Kreise gegenüber ein entsprechendes Gegengewicht oder, wie dies gewöhnlich der Fall ist, einen zweiten solchen Kreis anbringen muss; ferner muss mit dem Objectivende des Fernrohrs ein die angegebene Vorrichtung genau balancirendes Gewicht verbunden werden.

255. Beschreibungen und Abbildungen von speciellen Durchgangsinstrumenten finden sich an folgenden Orten:

Struve, Description de l'observatoire de Poulkova, S. 115: La grande lunette méridienne d'Ertel.

Maury, Astronomical observations made at the Naval Observatory Washington, Bd. I, Einleitung, S. 1: West Transit.

Dollond, G., Account of the Transit instrument made for the Cambridge Observatory: Philos. Trans., 1825, I, Part. II, p. 418.

Taylor, Result of astronomical observations made at the observatory at Madras, Bd. I, S. 1.

Annals of the astronomical observatory of Georgetown College, Nr. I.

b) Der Meridiankreis.

256. Der Meridiankreis unterscheidet sich von dem Passageninstrumente blos dadurch, dass an der horizontalen Axe Kreise von grössern Dimensionen mit ganz feiner Theilung angebracht sind, um auch die Declinationen der Sterne ganz genau bestimmen zu können.

v. Reichenbach, welchem die Meridiankreise ihre Entstehung verdanken, brachte blos am einen Ende der horizontalen Axe einen Kreis an, welcher mittels Verniers, die an ganzen Alhidadenkreisen (§ 53) sich befinden, abgelesen wird. Bei den neuern Instrumenten dagegen sind an beiden Enden der Axe Kreise angebracht, welche mittels mikrometrischer Mikroskope (§ 55 ff.) abgelesen werden, die entweder an den Steinpfeilern (§ 69) oder an eigenen Mikroskopträgern (§ 70) befestigt sind.

Die Dimensionen des Fernrohrs sind bei diesen Instrumenten dieselben wie bei den Passageninstrumenten; die Kreise haben bei den grössern Instrumenten gewöhnlich einen Durchmesser zwischen 3—4 Fuss.

257. Folgende Schriften enthalten Beschreibungen und Abbildungen von Meridiankreisen:

Airy, Description of the Transit circle of the Royal Observatory Greenwich: Greenwich Observations, 1852, Appendix I.

Annals of the astronomical observatory of Georgetown College, Nr. I.

Encke, Astronomische Beobachtungen auf der königlichen Sternwarte zu Berlin, Bd. I.

Maury, Astronomical observations at the Naval Observatory Washington, Vol. I.

Moesta, Observaciones astronómicas hechas en el observatorio nacional de Santjago de Chile, Tomo I.

Peters, Notizen über den auf der altonaer Sternwarte befindlichen (Reichenbach'schen) Meridiankreis: Astronomische Nachrichten, Bd. XLV, Nr. 1061.

Quincy, Annals of the astronomical observatory of Harvard College (Cambridge N. A.), Vol. I, Part. I.

Repsold, Meridiankreis von A. und G. Repsold, aufgestellt in der hamburger Sternwarte: Astronomische Nachrichten, Bd. XV, Nr. 349.

Santini, Descrizione del circolo meridiano dell' i R. osservatorio di Padova (Padua 1840).

Secchi, Memorie dell osservatorio in Collegio Romano (1850).

Steinheil, Ueber einen neuen Meridiankreis: Astronomische Nachrichten, Bd. XXIX, Nr. 684.

Struve, Description de l'observatoire de Poulkova, S. 150: Le grand cercle méridien de Repsold.

Wichmann, Beschreibung des Repsold'schen Meridiankreises an der königsberger Sternwarte: Königsberger Beobachtungen, Abthl. 27, Thl. I.

c) Der Mauerkreis.

258. Die Mauerkreise dienen zwar zu dem gleichen Zwecke wie die Meridiankreise, unterscheiden sich jedoch von denselben schon wesentlich durch ihre Aufstellung. Bei ihnen ist nämlich in der Richtung des Meridians eine mehrere Fuss dicke Mauer aufgeführt, durch welche eine Axe von der in § 18 beschriebenen Art hindurchgeht. Diese Axe trägt am einen Ende ein Fernrohr und einen Kreis, welcher sich an die Mauer anlegt und mittels mikrometrischer Mikroskope, die an der Mauer befestigt sind, abgelesen wird. Die Dimensionen der Kreise überschreiten die bei den Meridiankreisen gebrauchten bedeutend; es kommen solche von 5—8 Fuss Durchmesser vor. (Vgl. § 43.) Zu bemerken ist, dass Mauerkreise hauptsächlich von den englischen und einigen französischen Künstlern gebaut wurden; die deutschen Künstler dagegen haben nie dergleichen verfertigt. In früherer Zeit wurden auch blos Quadranten auf die angegebene Art aufgestellt.

259. Ueber Mauerkreise handeln die folgenden Schriften:

Maury, Astronomical observations made at the Naval Observatory Washington, Bd. I, Einleitung, S. XCI.

Robinson, Description of the mural circle of the Armagh Observatory and examination of its divisions: Memoirs of the Royal Astronomical Society, Bd. IX.

Pond, Greenwich observations for the year 1832 (Mauerkreise von Jones und Troughton).

Taylor, Result of astronomical observations made at the observatory at Madras, Bd. I.

2. Instrumente im ersten Verticale.

260. Bessel machte zuerst auf die Vortheile aufmerksam, welche die Beobachtung der Sterndurchgänge im ersten Verticale gewähren kann. Er stellte deshalb ein gewöhnliches Passageninstrument (§ 253) so auf, dass das Fernrohr sich in diesem Verticale bewegte. In neuerer Zeit wurden dagegen einige Durchgangsinstrumente eigens für diesen Zweck ausgeführt, welche sich von den Meridianfernrohren hauptsächlich dadurch unterscheiden, dass das Fernrohr F (Fig. 7) bei ihnen an der Axe ausserhalb der Lager befestigt ist. (Vgl. hierzu § 131, 135, 143, 154.)

Beschreibungen von diesen Instrumenten gaben:

Maury, Washington observations, Bd. I, Einleitung, S. LI. (Das Objectiv des Fernrohrs hat 4,8 Zoll Oeffnung und 6 Fuss 6 Zoll Focallänge.)

Struve, Description de l'observatoire de Poulkova, S. 167. (Das Objectiv des Fernrohrs hat 6,25 Zoll Oeffnung und 7 Fuss 7 Zoll Brennweite, die Axe zwischen den Zapfen eine Länge von 44,4 par. Zoll.)

II. Aequatoreale.

261. Bei den Aequatorealen ist einfach das Fernrohr am Ende der Declinationsaxe eines parallaktisch aufgestellten Axensystems, welches wir in § 33 kennen gelernt haben, befestigt. Die beiden Axen tragen an ihren untern Enden Kreise, welche analog den Axen der Stundenkreis und der Declinationskreis genannt werden. (Vgl. hierzu besonders § 134, 147—151, 157 und, da mit den Aequatorealen die Mikrometer zur relativen Ortsbestimmung verbunden werden, den ganzen Abschnitt VII.)

Es werden bei diesen Instrumenten Fernrohre von möglichst grosser optischer Kraft angewendet. D'Arrest hat in seiner Beschreibung des Aequatoreals der kopenhagener Sternwarte eine Zusammenstellung von mehreren der grössten im münchner optischen Institute gefertigten Refractoren gegeben, welche ich hier folgen lassen will.

	Focaldistanz.	Oeffnung.
Dorpat und Berlin . . .	14,33 engl. Fuss	9,6 engl. Zoll.
Washington.	14,36 „ „	9,6 „ „
München und Kopenhagen	16,10 „ „	11,1 „ „
Cambridge (Amerika) . .	22,50 „ „	15 „ „
Pulkowa	22,55 „ „	15 „ „

262. Die vorzüglichste Literatur über Aequatoreale ist folgende:

Airy, Account of the Northumberland Equatoreal and dome, attached to the Cambridge Observatory: Astronomical observations made at the observatory of Cambridge by J. Challis, Bd. XV, Anhang.

D'Arrest, Instrumentum magnum aequatoreum in specula Universitatis Havniensis nuper erectum.

Bond, Description of the observatory at Cambridge, Massachusetts.

Fraunhofer, Ueber die Construction des so eben vollendeten grossen Refractors: Astronomische Nachrichten, Bd. II, Nr. 74, 75.

Hansen, Die Theorie des Aequatoreals: Abhandlungen der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Bd. II.

J. F. W. Herschel und J. South, Observations on 380 double and triple stars in 1822 and 1823 (London 1825). Enthält: Description of M. J. South's five feet Equatoreal.

Johnson, Astronomical observations made at the Radcliffe Observatory (Oxford 1851). (Heliometer mit eigenthümlicher parallaktischer Montirung von Repsold.)

Maury, Astronomical observations at the Naval Observatory Washington, Bd. I.

Peters, Beschreibung des Aequatoreals der altonaer Sternwarte (von Repsold): Astronomische Nachrichten, Bd. LVIII, Nr. 1386—90.

Repsold, A., Beschreibung des Aequatoreals der Sternwarte zu Gotha: Astronomische Nachrichten, Bd. LIX, Nr. 1406, 1407.

Secchi, Descrizione del Nuovo osservatorio dell Collegio Romano.

Struve, Nachricht von der Ankunft und Aufstellung des Refractors von Fraunhofer auf der Sternwarte der königl. Universität zu Dorpat: Astronomische Nachrichten, Bd. IV, Nr. 75, 76.

Struve, Beschreibung des grossen Refractors von Fraunhofer (Dorpat 1825).

Struve, Description de l'observatoire de Poulkova, S. 181.

III. Instrumente für Höhe und Azimut.

263. Wenn man die Verbindung zweier auf einander senkrecht stehender Axen so aufstellt (§ 32), dass die eine Axe vertical, die andere horizontal steht, wenn man ferner mit der letztern Axe ein Fernrohr und mit beiden Axen getheilte Kreise in Verbindung bringt, so hat man ein Instrument, mit welchem Höhe und Azimut gemessen werden kann.

Bringt man mit einer verticalen Axe ein Fernrohr und einen getheilten Kreis in Verbindung, so hat man ein Azimutalinstrument.

Verbindet man mit einer horizontalen Axe ein Fernrohr und einen Kreis, so hat man ein Höheninstrument.

264. Die Instrumente der erstern Art heissen Universalinstrumente und zwar deshalb, weil mit ihnen nicht blos Höhe und Azimut, sondern auch, wenn man das Fernrohr in den Meridian stellt, die Declination und gerade Aufsteigung gemessen werden kann.

Die Instrumente der zweiten und dritten Art heissen Theodoliten und sind häufig so eingerichtet, dass der nämliche Kreis sowohl in die Ebene des Horizontes als auch darauf senkrecht gestellt werden kann. Ist der Kreis zum Repetiren der Winkel (§ 75) eingerichtet, so heisst das Instrument ein Repetitions- oder Multiplicationstheodolit.

Die eben genannten Instrumente sind transportable. Fig. 104 zeigt die wesentlichen Theile eines solchen Instruments, mit welchem Horizontalwinkel (Azimute) gemessen und, wenn man das Fernrohr in den Meridian stellt, auch Sterndurchgänge (gerade Aufsteigungen zum Zwecke der Zeitbestimmung) beobachtet werden können; aus dem letztern Grunde heisst ein solches Instrument auch ein tragbares Durchgangsinstrument. Bringt man in die Lager LL Axen, mit welchen ein Fernrohr und ein oder zwei Kreise verbunden sind (Fig. 106, 107, 109), so hat man das Universal-

instrument. Fig. 108 zeigt einen Theodoliten bei verticaler Stellung des Kreises. (Vgl. hierzu § 12—27, 31, 32, 116—118, 121—126, 130—132, 168—174.)

265. v. Reichenbach hat auch das Princip der Höhen- und Azimutalinstrumente im Grossen ausgeführt und solche Höhenkreise (Repetitionskreise von 3 Fuss Durchmesser) für München, Mailand, Paris und Tübingen geliefert. In neuerer Zeit wurde von Ertel für Pulkowa ein Verticalkreis von 43 Zoll Durchmesser geliefert; das Objectiv des Fernrohrs dieses Instruments hat 5,9 Zoll Oeffnung und 77 Zoll Focaldistanz. Auch Airy hat für die greenwicher Sternwarte ein grosses Höhen- und Azimutalinstrument anfertigen lassen, dessen Construction sich jedoch von der sonst gewöhnlichen wesentlich unterscheidet; ich verweise darüber auf die unten citirte Abhandlung.

266. Die wichtigste Literatur über Höhen- und Azimutalinstrumente ist folgende:

Airy, Description of the Altitude and Azimuth Instrument: Astronomical observations made at the Royal Observatory Greenwich in the year 1847.

Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, Bd. I.

Breithaupt, F. W., Beschreibung eines Compensationstheodolits (Düsseldorf u. Elberfeld 1827).

Breithaupt, F. W., Der Repetitionstheodolit, der Translateur, der Dosensextant und zwei Nivellirinstrumente neu construirt (Kassel 1846).

Breithaupt, F. W., Sammlung von Zeichnungen mathematischer und physikalischer Instrumente, welche in dem mechanischen Institute von F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel geliefert werden.

Dollond, G., The description of a repeating instrument upon a new construction: Memoirs of the Royal Astronomical Society, Bd. I.

Dollond, G., A short account of a new instrument for measuring vertical and horizontal angles: Memoirs of the Royal Astronomical Society, Bd. II.

Eckhardt, Neuer Repetitionstheodolit (Darmstadt 1813).

Melford, W. E., Improved theodolite: Mechanical Magazine, LXIV.

Sawitsch, Abriss der praktischen Astronomie (Hamburg 1850), Bd. I. Enthält die Beschreibung und Abbildung der Ertel'schen transportablen Instrumente.

Struve, Ueber das Universalinstrument von v. Reichenbach und Ertel als Horizontalwinkelmesser: Astronomische Nachrichten, Bd. II, Nr. 47, 48.

Struve, Ueber ein auf der dorpater Sternwarte befindliches, mit einem Verticalkreise versehenes tragbares Durchgangsinstrument aus der mecha-

nischen Werkstätte von Repsold in Hamburg: Astronomische Nachrichten, Bd. XV, Nr. 344.

Struve, Description de l'observatoire de Poulkova, S. 130.

Die Spiegelinstrumente.

267. Zu den Höheninstrumenten gehört auch noch eine Klasse von Instrumenten, welche sich von den bisher angegebenen dem Principe nach wesentlich unterscheiden; es sind dies die Spiegelinstrumente.

Diese Instrumente zerfallen in zwei Klassen, je nachdem zum Ablesen der Winkel

a) blos ein getheilter Sextant (früher auch ein Octant) oder

b) ganze Kreise verwendet werden.

Beide Klassen beruhen auf folgenden ganz einfachen optischen Sätzen:

1) Wenn man die Richtung eines von einem ebenen Spiegel reflectirten Strahls beobachtet und den Spiegel dann um einen bestimmten Winkel dreht, so ist der Winkel, welchen die Richtung des reflectirten Strahls nach der Drehung mit der Richtung desselben vor der Drehung einschliesst, gleich dem Doppelten des Winkels, um welchen der Spiegel gedreht wurde.

Es bezeichne AB (Fig. 183) die Lage des Spiegels vor der Drehung, SC die Richtung des einfallenden und $S'C$ die Richtung des reflectirten Strahls; $A'B'$ sei die Lage des Spiegels nach der Drehung und $S''C$ für diesen Fall die Richtung des reflectirten Strahls. Nun sind die Einfallswinkel und der Reflexionswinkel einander gleich, folglich auch

$$\begin{aligned} SCA &= S'CB \\ SCA' &= S''CB' \\ \hline SCA' - SCA &= S''CB' - S'CB \\ &= S''CS' + S'CB' - (S'CB' + B'CB) \\ A'CA &= S''CS' - A'CA \\ S''CS' &= 2A'CA. \end{aligned}$$

Also ist der obige Satz bewiesen.

2) Wenn man zwei ebene Spiegel ab und $a'b'$ (Fig. 183a) einander gegenüber aufstellt, sodass das bei A befindliche Auge des Beobachters einen Gegenstand P direct in der Richtung AP, welche durch den Spiegel ab geht, sieht, so wird man bei A auch das reflectirte Bild eines Gegenstandes S in der Richtung AP sehen, vorausgesetzt, dass der Winkel SAP, welchen die beiden directen Richtungen nach S und P von A aus mit einander einschliessen, doppelt so gross ist als der Winkel, um welchen die Ebene des Spiegels $a'b'$ gegen die zu ab parallele Lage $a''b''$ gedreht ist.

Der Beweis dieses Satzes ist sehr einfach. Es ist nämlich als Aussenwinkel des Dreiecks $c' c A$

$$c' c P = 2 c c' b' + S A c.$$

Ebenso ist der Aussenwinkel des Dreiecks $c' c m$

$$c' c a = c c' m + c m c'.$$

Es ist ferner

$$c' c a = A c b = a c P,$$

folglich

$$2 c' c a = c' c P = 2 c c' m + 2 c m c' = 2 c c' b' + S A c$$

oder endlich

$$2 b' c' b'' = S A P,$$

wodurch unser Satz bewiesen ist.

Man hat also blos die Grösse der Drehung des Spiegels $a' b'$ gegen die zu $a b$ parallele Lage zu kennen, so lässt sich daraus der Winkel $S A P$, welchen die beiden Objecte mit einander einschliessen, ableiten.

3) Anstatt der Spiegel kann man hierbei auch rechtwinklige, gleichschenklige Glasprismen gebrauchen, da sich dieselben wie ebene Spiegel verhalten.

Fällt nämlich ein Lichtstrahl $a b$ (Fig. 185) auf dem Prisma $A B C$ auf, so wird er beim Eintritte gebrochen, an der Hypotenusenfläche reflectirt und beim Austritte aus dem Prisma wieder gebrochen und zwar so, dass $< A b a = < B d e$ ist.

Denn es ist in den Dreiecken $A b c$ und $B d c$

$$< b c A = < d c B$$
$$< C A B = < C B A,$$

folglich auch

$$< c b A = < c d B.$$

Da nun

$$\frac{\sin (90° - a b A)}{\sin (90° - c b A)} = n = \frac{\sin (90° - B d e)}{\sin (90° - c d B)}$$

ist, so hat man

$$< A b a = < B d e.$$

Denkt man sich nun $a b$ und $d e$ im Prisma bis zum Durchschnittspunkte γ verlängert und durch diesen Punkt eine Fläche $\alpha \beta$ parallel zur Hypotenusenfläche $A B$ des Prismas gelegt, so hat man in den Dreiecken $\alpha b \gamma$ und $\beta d \gamma$

$$< \alpha b \gamma = 180° - a b A = 180° - B d e = < \beta d \gamma,$$

ferner

$$< b \alpha \gamma = < d \beta \gamma,$$

folglich auch

$$< \alpha \gamma a = < e \gamma \beta.$$

Es verhält sich also das Prisma gerade wie ein ebener Spiegel $\alpha\,\gamma\,\beta$, welcher parallel zur Hypotenusenfläche $A\,B$ liegt.

Diese drei Sätze bilden die ganze Theorie der folgenden Spiegelinstrumente.

1. Der Spiegelsextant.

268. Bei dem Spiegelsextanten (Fig. 184) steht der drehbare Spiegel S senkrecht auf einer runden Scheibe, welche mit einem Alhidadenarme $A\,A$ fest verbunden ist. Die Alhidade und damit der Spiegel ist um den Mittelpunkt eines Sextanten beweglich, welcher einen eingetheilten Limbus $L\,L$ besitzt. Dem Spiegel S gegenüber ist senkrecht auf der Ebene des Sextanten ein zweiter kleinerer Spiegel s angebracht, vor welchem sich das Fernrohr $F\,F$ befindet, dessen Focus die Stelle des Punktes A in Fig. 183 a vertritt.

269. Hinsichtlich der einzelnen Theile sind folgende Punkte bei diesem Instrumente in Betracht zu ziehen.

Der Sextantenkörper selbst muss hinlänglich fest construirt werden, damit keine Aenderung der Form desselben und besonders auch der obern Fläche eintreten kann; dabei darf jedoch sein Gewicht nicht zu gross werden, um noch bequem mit der Hand dirigirt werden zu können. Im Schwerpunkte des ganzen Sextanten befindet sich (bei H) eine Handhabe. Der Limbus besitzt eine Silber- oder auch eine Elfenbeineinlage, auf welcher sich die Theilung befindet. Diese Theilung ist so beziffert, dass dem wahren Winkelwerthe die doppelte Ziffer beigesetzt wird, damit man den Drehungswinkel des Spiegels nicht erst mit 2 zu multipliciren hat; es wird also dem sechzigsten Grade die Ziffer 120 beigesetzt sein und so, wenn die Theilung auf halbe Grade geht, jedes Intervall einem ganzen Grade des Winkels, welchen die beiden Richtungen der beobachteten Objecte einschliessen, entsprechen.

Mit dem Alhidadenarme $A\,A$ ist ein fliegender Vernier zur Ablesung und Subdivision der Theilung verbunden; es wurde darüber bereits in § 50 ff. das Nähere abgehandelt. An der Alhidade ist auch noch ein beweglicher Arm a angebracht, welcher eine Lupe l trägt, die zur präcisen Ablesung dient. Der Alhidadenarm führt ferner an seinem Ende eine Klemme von der in § 116 angegebenen Art mit sich, mit welcher zugleich die in § 121 beschriebene feine Bewegung nach der Sehne verbunden ist. Der Spiegel S muss in der Art mit der Alhidade $A\,A$ verbunden werden, dass der Vernier auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, wenn die beiden Spiegel S und s parallel stehen.

270. Beide Spiegel müssen senkrecht auf der Ebene des Sextanten stehen. Hierbei können die Spiegel vom Mechaniker ein- für allemal so genau als möglich senkrecht befestigt werden, und der Beobachter hat dann die Abweichung von dieser senkrechten Stellung genau zu bestimmen und

in Rechnung zu ziehen. Besser ist es jedoch, die Spiegel nicht ganz fest anzubringen, sondern ihre Fassung so einzurichten, dass eine Correction der Stellung ermöglicht wird. Sehr einfach wird zu diesem Zwecke zwischen die Fassung des Spiegels und ihre Unterlage, welche beide etwas ausgehöhlt sind, eine dünne cylindrische Walze gelegt und mittels dreier Schräubchen die richtige Stellung des Spiegels hergestellt.

Die Spiegelgläser müssen genau eben und parallel sein; ist dies nicht der Fall, so hat der Beobachter den Fehler seiner Grösse nachzubestimmen und in Rechnung zu bringen. Der kleine Spiegel s ist nur an der untern Hälfte belegt, damit man durch die obere Hälfte das eine Object (P in Fig. 183 a) direct beobachten kann.

271. Das Fernrohr FF, dessen optische Axe vor allem parallel mit der Sextantenebene sein muss, soll dabei im Allgemeinen in einer solchen Höhe stehen, dass die Hälfte des Objectivs Licht vom direct betrachteten Gegenstande, die andere Hälfte das Licht vom reflectirten Objecte (von der untern Hälfte des kleinen Spiegels) empfängt. Da übrigens diese beiden Bilder sehr verschiedene Lichtstärke besitzen können, was für die genaue Einstellung sehr hinderlich sein kann, so ist es nöthig, das Fernrohr höher und tiefer stellen zu können, damit dadurch die Lichtintensität beider Bilder so nahe als möglich gleichgemacht werden kann.

Noch ist zu bemerken, dass bei den Beobachtungen der Sonne oder anderer sehr lichtstarker Objecte das Licht derselben durch gefärbte Gläser abgedämpft werden muss. Solche Gläser befinden sich bei E und e' und heissen die Einschlaggläser oder Sonnengläser. Die Gläser bei E, woselbst sich in der Regel drei befinden, können zwischen die beiden Spiegel umgeklappt werden; die bei e', gewöhnlich blos zwei an der Zahl, werden vor dem kleinen Spiegel umgelegt. Diese Gläser sollen genau plane und parallele Flächen haben; ein Fehler in Bezug auf den letztern Punkt kann übrigens durch Beobachtung ermittelt und in Rechnung gezogen werden. Die Färbung der Gläser ist verschieden, sowohl in Bezug auf die Wahl der Farbe als auf die Intensität der Färbung; am häufigsten werden gelbe, blaue, grüne oder rothe Gläser gebraucht. [1])

1) Solche gefärbte Planparallelgläser werden auch bei den Sonnenbeobachtungen mit jedem Fernrohre zum Schutze des Auges gebraucht und zwar in der Regel zwischen die Ocularlinsen und das Auge des Beobachters gebracht. Auch mit einer Russschicht überzogene Gläser wurden angewendet; dabei ist dann die Russschicht je nach Bedürfniss mehr oder weniger dick und zwischen zwei Gläsern eingeschlossen, um vor Verletzung geschützt zu sein. In neuerer Zeit wurde in England auch zwischen den Focus und das Ocular des Fernrohrs ein weisses Planglas unter einer Neigung angebracht und das durch die Reflexion geschwächte Sonnenbild dann mittels eines ganz schwach gefärbten Sonnenglases beobachtet. Bei den gefärbten Gläsern sind zwei Arten zu unterscheiden, je nachdem das Glas durch die ganze Masse oder blos an den Oberflächen — überfangen — gefärbt ist.

272. Die Methoden für die Bestimmung der Fehler der einzelnen Theile des Sextanten gehören nicht hierher; sie können in der folgenden Literatur über den Sextanten nachgesehen werden.

Atwood, General theory of the mensuration of the angle subtended by two objects; of which one is observed by rays after two reflections from plane surfaces and the other by rays coming directly to the spectator's eye: Philos. Trans., 1781.

Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, I, 264.

Bohnenberger, Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung. (Auch neu bearbeitet von Jahn.)

Dollond, Some additions and alterations made to Hadley's quadrant to render it more service able at sea: Philos. Trans., 1772.

Encke, Ueber den Spiegelsextanten: Berliner astronomisches Jahrbuch für 1830.

Hadley, Instrument for taking angles: Philos. Trans., 1731 und 1732.

Ludlam, Directions for the use of Hadley's quadrant, with remarks on the construction of that instrument (London 1771).

Magellan, Description des octants et sextants anglais.

Magellan, Sur les instruments circulaires de réflexion.

Maskelyne, Remark on the Hadley's quadrant, tending principally to remove the difficulties which have hitherto attended the use of the back observation, and to obviate the errors that migh arise from a want of parallelism in the two surfaces of the indexglass: Philos. Trans., 1772.

Morgan, The nature and use of Hadley's quadrant with a preface, containing the theory on which that noble and useful instrument is founded, and a description of the Nonius (London 1769).

Newton, Paper on a reflecting instrument like Hadley's: Philos. Trans., 1742.

Prestel, Das astronomische Diagramm, S. 104 ff.

Robinson, Improved Hadley's quadrant: Encyclopaedia metropolitana. Mixed sciences, I, 637.

Sawitsch, Abriss der praktischen Astronomie, II, 299.

2. Reflexionskreise.

273. Der Spiegelsextant hat mehrere bedeutende Uebelstände. Einmal nämlich kann man blos Winkel von 120° mit demselben messen; dann ist der Fehler der Excentricität, da nur an einem einzigen Vernier abgelesen werden kann, in die Beobachtung eingeschlossen (vgl. § 71); ferner

ist das reflectirte Bild nicht bei jeder Lage hinlänglich präcis, wovon man sich sogleich überzeugt, wenn man die Grösse des Einfallswinkels bei verschiedener Lage der Spiegel näher betrachtet. Diese Uebelstände nun hat man zum Theil durch Anwendung von ganzen Kreisen unter Beibehaltung des gleichen Princips zu umgehen gesucht.

Den ersten Spiegelkreis hat Borda construirt; er wendete dabei die schon von T. Mayer angebene Repetition der Winkel (s. § 75) an. Steinheil hat bei seinen Prismenkreisen anstatt der Spiegel Prismen (§ 267, 3) angebracht. Die neuesten Reflexionskreise sind die von Pistor und Martins in Berlin erfundenen, bei welchen an die Stelle des kleinen Spiegels beim Sextanten ein gleichschenkliges, rechtwinkliges Glasprisma gesetzt und deren wesentliche Einrichtung durch Fig. 186 dargestellt ist.

274. Im Mittelpunkte des getheilten Kreises KK ist eine runde, um eine Axe drehbare Platte angebracht, auf welcher der Spiegel S senkrecht steht und mit welcher die mit zwei diametral einander gegenüberliegenden Verniers versehenen Alhidadenarme AA fest verbunden sind. Dem Spiegel S gegenüber steht das Prisma p so, dass es dem Spiegel die eine Kathetenfläche zuwendet; vor der andern Kathetenfläche steht das Fernrohr F.

Die Theilung des Kreises ist wie beim Sextanten so beziffert, dass die an den Theilstrichen stehenden Ziffern sogleich den doppelten Winkel angeben. Dabei steht der Spiegel, welcher genau ebene und parallele Flächen haben muss, dann mit der Hypotenusenfläche des Prismas parallel, wenn die Alhidade $0°$ zeigt. Die senkrechte Stellung des Spiegels und des Prismas kann auch hier wie beim Sextanten corrigirt werden. Das Prisma hat blos die Hälfte der Höhe des Spiegels, seine Seitenflächen müssen genau eben sein und senkrecht stehen; dagegen hat eine Abweichung von der genau gleichschenkligen, rechtwinkligen Form nur geringen Einfluss. Das Fernrohr, dessen optische Axe genau parallel mit der Kreisebene liegen muss, steht in einer solchen Höhe, dass das halbe Objectiv das vom Prisma reflectirte Licht, die andere Hälfte dagegen directes Licht von einem Objecte erhält. Dabei kann jedoch wieder die Höhe des Fernrohrs, ohne dass der Parallelismus seiner optischen Axe mit der Kreisebene verloren geht, geändert und dadurch die Intensität beider Bilder so nahe als möglich gleichgemacht werden. Bei den Sonnenbeobachtungen werden gefärbte Blendgläser vor dem Objective eingeschlagen, welche genau plan und parallel sein müssen. Bei einigen Lagen des Spiegels ist es erforderlich, ein gebrochenes Fernrohr bei der Beobachtung anzuwenden, worüber in § 90 ff. das Nähere bereits abgehandelt wurde.

275. Die Literatur über Reflexionskreise ist folgende:

Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, I, 290.

Bessel, Theorie des Steinheil'schen Prismenkreises: Astronomische Nachrichten, Bd. XI, Nr. 254.

Borda, Description et usage du cercle de réflexion (Paris 1787).

Brisbane, Memoir on the repeating reflecting circle: Edinburgh Transactions, Bd. IX.

Cassini, Exposé des opérations en France en 1787 pour la jonction des observatoires de Paris et de Greenwich, description et usage d'un nouvel instrument propre à donner la mesure des angles à la précision d'une seconde (Paris).

Dollond, Improved reflecting circle: Encyclopaedia metropolitana. Mixed sciences: Nautical astronomy, I, 640.

Pistor und Martins, Patentirte Reflexionsinstrumente: Beilage zu den Astronomischen Nachrichten, Bd. XLIII, Nr. 548. (Auch in Neukrantz' Berliner Gewerbeblatt, Bd. XIV, 1845, Nr. 2.)

Prestel, Das astronomische Diagramm, S. 137.

Sawitsch, Abriss der praktischen Astronomie, II, 410.

Steinheil, Ueber neue Reflexionskreise mit Glasprismen als Spiegel: Astronomische Nachrichten, XI, 243.

Troughton, Reflecting circle: Encyclopaedia metropolitana. Mixed Sciences: Nautical astronomy, S. 638.

276. Die astronomischen Instrumente sind immer gleichsam der Ausdruck des Standpunktes der Wissenschaft zur Zeit, zu welcher dieselben construirt worden sind. Ihre Construction hängt einmal von den als am zweckmässigsten erachteten Beobachtungsmethoden und dann von der Vollkommenheit der mechanischen und optischen Hülfsmittel ab. So ist die Idee Römer's, das Fernrohr im Meridiane aufzustellen, für die praktische Astronomie epochemachend gewesen; allein es musste noch die mechanische Vollendung, welche die Instrumente zuerst durch die englischen Künstler und dann bei uns durch v. Reichenbach erhielten, es musste ferner die optische Kraft der Fraunhofer'schen Fernrohre, sowie der Scharfsinn Bessel's, welcher die Einflüsse der Unvollkommenheiten des Instruments auf die Beobachtungen ihrer Grösse nach bestimmen und so unschädlich machen lehrte, hinzukommen, um den Beobachtungen die jetzt sprichwörtlich gewordene Genauigkeit geben zu können.

So gross aber auch die Vollendung der gegenwärtig in der Astronomie gebrauchten Instrumente ist, so lässt sich doch kaum ein Stehenbleiben erwarten; die Frage ist nur, nach welcher Richtung hin der Fortschritt oder eigentlich das Augenmerk der Astronomen und Künstler zu gehen habe.

Betrachten wir zunächst die Genauigkeit, welche mit unsern Instrumenten zu erlangen ist, so ist jedem bekannt, der Gelegenheit hatte, selbst Beobachtungen anzustellen, dass — wenigstens in unsern Klimaten — der Zustand der Luft die Genauigkeit, welche die jetzigen Instrumente überhaupt zulassen, nur in den seltensten Fällen zu erreichen erlaubt.

So steht die Genauigkeit der Einstellung bei den Meridianinstrumenten meistentheils weit hinter der Grösse des Intervalls zurück, bis zu welchem unsere Kreise noch eine sichere Ablesung gestatten. Es ist nämlich leicht, an einem dreifüssigen Kreise mittels mikrometrischer Mikroskope Zehntel einer Secunde genau abzulesen; dagegen geht der Stern in den wenigsten Fällen ganz ruhig durch das Fernrohr, ja es ist dabei nichts Seltenes, dass er 3—4 Secunden in der Höhe schwankt. Was nützt also eine so genaue Ablesung, wenn man nicht ebenso sicher einstellen kann! Ein anderer Punkt, welcher ebenfalls hierher gehört, da er seinen Grund in der Beschaffenheit der Atmosphäre hat, kommt bei den grossen Refractoren vor. Ein münchner Objectiv von 10 par. Zoll Oeffnung würde an und für sich ganz gut eine 900fache Vergrösserung vertragen; die allgemeine Erfahrung lehrt aber, dass diejenigen Nächte, an denen man eine 400- bis 500fache Vergrösserung mit Erfolg anwenden kann, zu den seltenen gehören.

Ein weiterer Umstand ist hingegen noch in Berücksichtigung zu ziehen, welcher auf einen Weg führt, auf dem durch eine Veränderung der Construction der Instrumente ein Fortschritt für die Astronomie zu erwarten steht; es würde sich dabei nur darum handeln, solche Instrumente herzustellen, mit welchen in kürzerer Zeit die gleiche Arbeit wie bisher geliefert werden könnte. Betrachtet man nämlich die geringe Anzahl von Sternen, deren Ort bei der gegenwärtigen Einrichtung unserer Meridianinstrumente und Mikrometer im Laufe eines Jahres an einer Sternwarte gut bestimmt werden kann, gegen das ganze vorliegende Material, so sieht man sogleich, dass die Zeit mit der erlangten Arbeit in gar keinem Verhältnisse steht und eine nähere Kenntniss des ganzen Sternhimmels noch in weiter Ferne liegt.

Ein glänzender Anfang in der angegebenen Richtung ist bereits durch unsere Zonenapparate gemacht, und gerade der hierdurch erzielte Erfolg rechtfertigt vollkommen die oben ausgesprochene Ansicht; er zeigt, dass auf die Zeit, welche zur Erlangung einer guten Beobachtung erforderlich ist, bei der Construction neuer Instrumente eine ganz besondere Rücksicht zu nehmen ist, er zeigt wenigstens einen Weg, auf welchem mit sichtlichem Erfolge zu arbeiten wäre.

Erster Anhang.

Einige Bemerkungen über die bei den astronomischen Instrumenten vorkommenden Schrauben.

Die Theorie der Schraube findet sich in jedem Lehrbuche der Physik und Mechanik und kann hier als bekannt vorausgesetzt werden. Eine nähere Angabe der Hülfsmittel, womit gute, für astronomische Instrumente brauchbare Schrauben verfertigt werden, würde hier offenbar zu weit führen und ich will in dieser Beziehung auf den ziemlich vollständigen Aufsatz von Altmüller in den Jahrbüchern des wiener polytechnischen Instituts (Bd. IV, S. 363 ff.) verweisen. Der Zweck dieses Anhangs ist vielmehr, in Kürze ein paar Punkte über die bei den astronomischen Instrumenten vorkommenden Schrauben nachzutragen, deren Kenntniss demjenigen, der mit solchen Instrumenten umzugehen hat, nicht blos nützlich, sondern sogar, besonders wenn es sich darum handelt, ein Instrument zusammenzustellen, nothwendig ist.

Man kann nämlich bei den astronomischen Instrumenten zwei Arten von Schrauben je nach ihrer Bestimmung unterscheiden, und zwar:

1) solche, welche den Zweck haben, zwei Theile eines Instruments fest zusammenzuhalten, und
2) solche, welche zum Fortbewegen eines Theils am Instrumente dienen.

Die Schrauben der ersten Art sind entweder von Messing oder von blau angelassenem Stahle verfertigt und werden in die beiden zusammenzuhaltenden Theile eingeschraubt, zu welchem Zwecke wie bei jeder gewöhnlichen Holzschraube der Kopf *c* (Fig. 187) oben einen Einschnitt hat, in welchen die Schneide des Schraubenziehers gebracht wird, um so die Schraube drehen zu können. Häufig liegt dann der cylindrische Kopf *c* auf der obern Fläche des Instrumententheils gerade auf; wenn es dagegen die Dicke des Metalls gestattet, so wird er versenkt. Im letztern Falle wird nämlich in den Instrumententheil, welcher an einen zweiten angeschraubt werden soll, nicht blos eine Mutter eingeschnitten, sondern es wird auch noch ein cylindrisches Loch ausgedreht, in welches der ganze Kopf eingelassen werden kann, sodass sein oberes Ende mit der Fläche des betreffenden Instrumententheils gleichsteht.

Dabei ist aber der Schraubenkopf nicht immer cylindrisch (Fig. 187), sondern sehr häufig konisch (Fig. 188). Da es ferner nicht rathsam ist, die Schrauben zu verwechseln, so wird an dem Kopfe ein Zeichen angebracht. Diese Bezeichnungen sind in der Regel Punkte, welche entweder auf der Oberfläche des Schraubenkopfes eingegraben werden und wobei dann neben das entsprechende Loch die gleiche Anzahl

von Punkten gesetzt wird, oder die Punkte werden an dem Cylinder oder Conus und der zugehörigen Vertiefung so angebracht, dass man dieselben, wenn die Schraube eingelassen ist, nicht sieht.

Was die zweite oben angeführte Art von Schrauben, nämlich die Schrauben zum Bewegen, betrifft, so dienen dieselben gewöhnlich zugleich auch als Messvorrichtungen, wie wir dies z. B. beim mikrometrischen Mikroskope gesehen haben. Daselbst (§ 60) wurden bereits die Bedingungen, welche bei solchen Schrauben erfüllt werden müssen, und die allgemeine Einrichtung derselben angegeben, sodass hier eine weitere Erörterung nicht erforderlich sein wird.

Zweiter Anhang.

Verzeichniss der bedeutendsten Verfertiger astronomischer Instrumente.

a. England.

Die Ersten, welche den astronomischen Instrumenten einen hohen Grad der Vollendung gaben, waren die Engländer. Die berühmtesten englischen Künstler sind folgende:

Bird, Mechanikus in London (1709—76), besonders berühmt durch seine Mauerquadranten.

Dollond, John (1706—61), Optiker in London, der Erfinder des achromatischen Fernrohrs. Sein Sohn **Peter** (1730—1820) setzte das Geschäft seines Vaters fort und vereinigte sich später mit seinem Vetter **George Dollond** (1774—1852).

Graham, Uhrmacher und Mechaniker in London (1675—1751), verfertigte den grossen Sector, womit Bradley die Aberration entdeckte.

Jones, Thomas, Mechaniker in London (1775—1852). Ausgezeichnet sind seine Mauerkreise, wovon einer in Greenwich.

Ramsden, Jesse, in London (1735—1800), gleich berühmt als Mechaniker und Optiker, namentlich auch durch seine Kreistheilmaschine.

Simms, Mechaniker in London (1793—1860), lieferte den Azimutalkreis, Meridiankreis, das grosse Aequatoreal etc. für Greenwich.

Troughton, Edward, Mechaniker in London (1753—1835), seit 1826 vereinigt mit Simms. Berühmt durch seine Kreistheilungen (Originaltheilungen).

b. Deutschland.

Im vorigen Jahrhunderte wurden in Deutschland alle Instrumente von den englischen Künstlern bezogen und mit Ausnahme von **G. F. Brander** in Augsburg (1713—83), welcher übrigens auch blos kleinere Instrumente verfertigte, hatte kein Deutscher einen Ruf. Im gegenwärtigen Jahrhunderte dagegen gehören die Leistungen bezüglich der Vervollkommnung der astronomischen Instrumente hauptsächlich deutschen Künstlern zu.

Vor allen sind hier die münchner Werkstätten zu nennen. Hier trat nämlich im Jahre 1804 der Artilleriehauptmann **Gg. v. Reichenbach** (1772—1826) auf und gründete mit dem Mechaniker **Liebherr** (1767—1840) und **Utzschneider,** welcher den kaufmännischen Theil besorgte, das namentlich durch seine Kreistheilmaschine so berühmt gewordene Institut für astronomische Instrumente. Im Jahre 1809 vereinigte sich v. Reichenbach mit **Fraunhofer** und Utzschneider zur Gründung eines optischen Instituts, welches sich anfänglich zu Benedictbeuern befand, später aber nach München verlegt wurde. Nachdem er aus beiden Instituten im Jahre 1814 ausgetreten war, gründete er mit **Traug. Ertel** (1778—1857) eine neue Werkstätte für astronomische Winkelmessinstrumente, welche im Jahre 1820 ganz an Ertel überging, dessen Sohn **Georg Ertel** das Geschäft noch mit gleichem Rufe fortführt.

Das genannte optische Institut besteht ebenfalls gegenwärtig noch fort und hat sich namentlich durch die in alle Länder verbreiteten grossen Refractoren (es wurde bereits ein sechzehnzölliges Objectiv verfertigt) einen weltbekannten Namen erworben. Von seiner Gründung bis zum Jahre 1826 stand dem Institute **Jos. Fraunhofer** (1787—1826) vor, von 1826—39 stand dasselbe unter **G. Merz**, von 1839—45 unter **G. Merz** und **Mahler** (1795—1845), von 1845 bis jetzt wurde das Geschäft von **G. Merz** und seinen Söhnen **Ludwig** (gest. 1858) und **Sigmund** fortgeführt.

Im Jahre 1855 gründete **C. A. Steinheil** eine zweite optisch-astronomische Werkstätte in München, welche sich ebenfalls eines sehr hohen Rufes erfreut und aus welcher unter anderm bereits ein Refractor mit neunzölligem Objective für die Sternwarte in Upsala hervorgegangen ist.

Einen sehr bedeutenden Namen hat auch die Repsold'sche Werkstätte in Hamburg, deren Gründer **Joh. Gg. Repsold** (1771—1830) war und welche gegenwärtig unter der Leitung von **Georg** und **Adolph Repsold**, den Söhnen des Gründers, steht. Aus dieser Anstalt sind besonders vorzügliche Meridiankreise hervorgegangen.

Das Gleiche gilt von der durch **K. Pistor** (1778—1847) im Jahre 1813 zu Berlin gegründeten Werkstätte, welche gegenwärtig die Firma **Pistor und Martins** trägt.

Auch in Wien wurden sehr gute astronomische Instrumente verfertigt, und zwar verdienen hier die Werkstätte des polytechnischen Instituts, gegenwärtig unter der Leitung von **G. Starke**, und der durch seine dialytischen Fernrohre bekannte Optiker **Plössl** besondere Erwähnung.

In Bezug auf transportable Instrumente leisteten Vorzügliches: **Meyerstein** in Göttingen (namentlich magnetische Instrumente) und **Breithaupt** in Kassel (**Johann Christian Breithaupt**, 1736—1800; **Heinrich Karl Wilhelm Breithaupt**, 1775—1856; **Friedrich Wilhelm Breithaupt**, 1780—1855; **Georg Wilhelm Anton Breithaupt**, geb. 1806).

c. Frankreich und die übrigen Länder.

Von Frankreich und den übrigen Ländern verdienen folgende Künstler eine namhafte Erwähnung:

Amici, Giovanni Battista, Optiker in Florenz; besonders berühmt durch seine Mikroskope, lieferte übrigens auch einige grössere Fernrohre.

Cauchoix, Robert (1776—1845), Optiker in Paris; verfertigte ein elfzölliges Objectiv für die Universität Cambridge, ein dreizehnzölliges für die Sternwarte von Armagh in Irland.

Daguet, Théodore, Optiker in Solothurn; fabricirt Crown- und Flintglas bis zu 14 Zoll 4 Linien Durchmesser.

Gambey, Henri Prudence (1787—1847), Mechaniker in Paris; lieferte grosse Kreise für die Sternwarten in Paris, Genf, Brüssel.

Lenoir, Etienne (1744—1832), Mechaniker in Paris; verfertigte die Instrumente für die französische Gradmessung im Jahre 1792.

Lerebours, Noël Jean (1761—1840), Optiker in Paris. Sein Sohn

Lerebours, Nicolas Maria, führt das Geschäft seines Vaters fort.

Schenk, Ulrich (1786—1845), Mechaniker in Bern; bei v. Reichenbach gebildet.

Soleil, Optiker in Paris; verfertigte Arago's Mikrometer aus doppeltbrechenden Krystallen, mit deren Schleifen er sich besonders beschäftigte.

Wenckebach in Utrecht; lieferte transportable und magnetische Instrumente.

Dritter Anhang.

Literatur über Mikrometer

nach alphabetischer Reihenfolge der Autoren.

Aepinus, Recherches sur les inconvénients dans l'usage du micromètre: Abhandlungen der berliner Akademie, 1756.

——, Instrumentorum astronomicorum, reticulo aut micrometro instructorum nova emendatio: Acad. Petrop., 1762.

Airy, On a new construction of a divided eye-glass double-image micrometer: Memoirs of the Royal Astronomical Society, Bd. XV.

Amici, Sur les micromètres prismatiques: v. Zach, Corresp. astron., Bd. VIII.

——, Nouveau micromètre intermédiaire: v. Zach, Corresp. astron., Bd. IX.

——, Descrizione d'un nuovo micrometro: Memorie di matematica e fisica della Società Italiana, Bd. XVII.

Arago, Sur un micromètre oculaire à double réfraction: Comptes rendus de l'Académie de Paris, Bd. XXIV. Poggendorff's Annalen der Physik, Bd. LXXIV. Astronomie populaire, Bd. II.

——, Sur l'inventeur du micromètre oculaire: Annales de chimie et de physique, Bd. XIV.

Asclepi, De objectivi micrometri usu in planetarum diametro metiendo. · Exercitatio optico-astronomica habita in Collegio Romano (Rom 1765).

Auzout, Traité du micromètre, ou manière exacte pour prendre le diamètre des planètes et la distance entre les petits étoiles: Mémoires de l'Académie ancienne de Paris, Bd. VII.

Babbage, On a new Zenith micrometer: Memoirs of the Roy. Astron. Soc., Bd. II.

Balthasar, Th., Micrometria, sive de micrometrorum telescopiis et microscopiis applicandorum varia structura et usu multiplici opusculum (Erlangen 1710).

Baumann, Ueber die Anfertigung guter Mikrometerschrauben (Berlin).

Bernoulli, Gebrauch des rautenförmigen Netzes: Bode's Jahrbuch, 1776.

Bessel, Ueber das Kreismikrometer: v. Zach, Monatliche Correspondenz, Bd. XXIV und XXVI.

——, Vorläufige Nachricht von einem auf der königsberger Sternwarte befindlichen grossen Heliometer von Fraunhofer: Astronomische Nachrichten, Bd. VIII.

——, Theorie eines mit einem Heliometer versehenen Aequatoreals: in dessen Astronomischen Untersuchungen, Bd. I.

Bevis, On Gascoigne's invention of the micrometer: Philosophical Transactions, 1753.

Boguslawski, On the use of a new micrometer etc.: Memoirs of the Roy. Astron. Soc., Bd. XV.

Boscovich, De novo genere micrometri objectivi: in dessen Opera pertinentia ad opticam et astronomiam (Bassano 1785), Tom. II, Opusc. IV.

——, Account of a new micrometer and megameter: Philos. Trans., 1777, Thl. II.

Bouguer, De la mesure des diamètres des plus grandes planètes, description d'un nouvel instrument, nommé heliomètre etc.: Mémoires de l'Académie de Paris, 1752.

Bradley, Directions for using the common micrometer taken from a paper in the late Dr. Bradley's hand-writing. Communicated by Nevil Maskelyne: Philos. Trans., 1772.

—— in Smith, Optics, II, 343.

Brander, Polymetroscopium dioptricum (Augsburg 1764).

Brewster, Description of a new double image micrometer for measuring the diameter of minute celestial objects: Edinburgh Philosophical Journal, IV, 164.

——, Treatise on philosophical instruments (Edinburgh 1813). Enthält viele Vorschläge zu Mikrometern.

——, Description of the circular segment micrometer: Edinburgh Journal of science, Bd. I.

Burkhard, Mémoire sur les micromètres: Mémoires présentés à l'Académie de Paris par divers savants, 1805, Bd. I.

——, Ueber den Gebrauch eines vollkommenen Vierecks: v. Zach, Monatliche Correspondenz, Bd. I.

Buttet, De, Lunette garnie d'un micromètre destinée à mesurer les distances: Mem. del Accademia di Torino, Bd. XIV.

Caille, La, Coelum australe stelliferum, S. VIII (rhombisches Diaphragma).

——, **De la**, Lectiones opticae in latinum traductae a C. S. Accessit theoria micrometri objectivi a R. J. Boscovich (Wien 1757).

Capocci, Sur un photomètre et un micromètre à fils luisants: Comptes rendus de l'Acad. de Paris, 1838, Bd. I.

Cassini, Description d'un nouveau micromètre universel: Mémoires de l'Acad. de Paris, 1724.

Cavallo, Description and use of the telescopial mother-of pearl micrometer (London 1793).

Chaulnes, Duc de, Description d'un microscope et de différents micromètres destinés à mesurer de parties circulaires ou droites avec la plus grande précision (Paris 1768).

Clausen, Ueber ein neues Doppelbildmikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. XVIII, Nr. 414.

Collin, Mikrometer: Bode's Jahrbuch, 1798.

David, Rautenförmiges Mikrometer: v. Zach, Corresp. astron., Bd. VIII.

Derham, Extracts from Gascoigne's and Crabtree's lettres, proving Mr. Gascoigne to have been the inventor of the telescopic sight of mathematical instruments and not the French: Philos. Trans., 1754.

Dollond, Description of a contrivance for measuring small angles: Philos. Trans., 1753.

Dollond, J., Explanation of a instrument for measuring small angles: Philos. Trans., 1754.

——, **G.**, An account of a micrometer made of rock crystal: Philos. Trans., 1821.

Dollond, G., On a concave achromatic lens adapted to the wired micrometer, which has been named „Macro-Micro“, from its power to increase the primary image of a telescope, without increasing the diameter of the wires in the micrometer: Philos. Trans., 1834.

Dove, Allgemeine Uebersicht über Mikrometer: in dessen Mass und Messen (2. Aufl.), S. 82 ff.

Eandi, Vasall, Observations sur l'idée de mesurer les distances par des lunettes garnies d'un micromètre: Mem. del Accad. di Torino, Bd. XIV.

Englefield, Sur le réticule rhomboïde de Bradley: Connaissance de temps, 1790.

Fischer, Vorschlag zu einem neuen Mikrometer: Bode's Jahrbuch, 1790, S. 248.

Flaugergues, H., Sur l'usage du réticule rhombe pour les observations des taches du soleil et de la lune: v. Zach, Corresp. astron., Bd. I.

Fontana, F., Saggio del real gabinetto di fisica e di storia naturale de Firenze (Rom 1775).

——, Verbesserungen verschiedener Mikrometer: Bode's Jahrbuch, 1778, S. 101 ff.

Fraunhofer, Beschreibung eines neuen Mikrometers: Astronomische Nachrichten, Bd. II.

Gehler, Physikalisches Wörterbuch (neue Bearbeitung), Art. Mikrometer und Heliometer.

Geissler, Beschreibung der Mikrometer (3 Thle., Leipzig 1794).

Hallenkreuz, D., De micrometro objectivo (Upsala 1767).

Hansen, Ausführliche Methode, mit dem Fraunhofer'schen Heliometer Beobachtungen anzustellen (Gotha 1827).

Helfenzrieder, Eb., Tubus astronomicus amplissimi campi cum micrometro suo et fenestillis ocularibus (Ingolstadt 1773).

Henrion, Usage du micromètre (Paris 1630).

Herschel, W., Description of a micrometer for taking the angle of position: Philos. Trans., 1781.

——, Description of a lamp micrometer and the method of using it: Philos. Trans., 1782.

——, On the diameter and magnitude of the Georgium sidus, with a description of the dark and lucid disk and periphery micrometers: Philos. Trans., 1783.

——, **J.**, Outlines of astronomy, S. 122.

Hire, La, Construction d'un nouveau réticule pour les éclipses et pour servir de micromètre: Mémoires de l'Acad. de Paris, 1701.

——, Micrometri descriptio et usus: in dessen Tabulae astronomicae Ludovici Magni jussu exaratae et in lucem editae (Paris 1702).

——, Construction d'un micromètre universel: Mémoires de l'Acad. de Paris, 1717.

Hollmann, De micrometro: Philos. Trans., 1745.

Hooke, On Gascoigne's screw micrometer: Philos. Trans., 1667.

Horrebow, Dissertatio de novo micrometro, a Nicolao Horrebow invento (Kopenhagen 1743).

Huyghens, Systema Saturnium (Haag 1659).

Johnson, Description of the Heliometer at the Radcliffe Observatory: Astronomical Observations made at the Radcliffe Observatory (Oxford 1850), Bd. XI, Einleitung.

Kästner, De usu filorum motui diurno non parallelorum ad maculas solares observandas (Göttingen 1780).

Kästner, Von Mikrometern in Fernröhren: Astronomische Abhandlungen, zweite Samml.

——, De micrometris, quae tubis inseruntur objectis terrestribus adhibendis: Comment. Soc. Reg. Gotting., 1789.

——, Ueber einen Kreis als Mikrometer: Bode's Jahrbuch, 1796.

Kirch's Kalender für 1696.

——, **Gottfr.**, De simplicissima quadam specie micrometri: Miscell. Berol., Bd. I (1710).

Klinkerfues, Ueber ein von Repsold für den göttinger Meridiankreis verfertigtes Mikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. XLIII, Nr. 1015.

Koch, Beschreibung einer mikrometrischen Vorrichtung für Sonnenbeobachtungen: Bode's Jahrbuch, 1796.

——, Gebrauch des leeren Kreises als Mikrometer: Bode's Jahrbuch, 1793.

Köhler, Ueber ein neues Mikrometer: Bode's Jahrbuch, 1785.

——, Schreiben an v. Zach über eine besondere Einrichtung des Bradley'schen Rhombus und des Kreismikrometers: v. Zach, Allgemeine geographische Ephemeriden, Bd. III.

Kreil u. **Frisiani**, Elektrisches Funkenmikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. XIV, Nr. 335.

Lalande, Description du micromètre: in dessen Astronomie (3. Aufl.), Bd. II, Buch XIII.

Lambert, Anmerkungen über die Brander'schen Mikrometer von Glas und deren Gebrauch (Augsburg 1769).

Lamont, Mikrometer mit lichten Linien: Jahrbuch der königl. Sternwarte bei München für 1850, S. 186.

——, Bemerkungen über Doppelbildmikrometer: Jahresbericht der münchner Sternwarte für 1858, S. 10.

Lichtenberg, Erläuterung der Theorie von Herschel's Lampenmikrometer: Göttinger Magazin, 1783.

Littrow, Geschichte der Mikrometer nach Grant: in dessen Kalender für 1859.

——, Ueber lichte Linien im dunklen Felde bei Meridianinstrumenten: Sitzungsberichte der wiener Akademie; mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 1856, Bd. XX.

——, Ueber das Mikrometer mit lichten Linien bei den wiener Meridianinstrumenten: Wiener Sitzungsberichte, 1860, Bd. XL.

Louville, Application du micromètre à la lunette du quart de circle: Mémoires de l'Acad. de Paris, 1714.

Malvasia, Gitter von Silberdraht: Ephemerides (Modena 1662).

Maskelyne, Description of a method of measuring distances of right ascension and declination with Dollond's micrometer: Philos. Trans., 1771, Bd. I.

——, Prismatic micrometer: Philos. Trans., 1777. Uebersetzt in: Hell, Beiträge znr praktischen Astronomie (Breslau u. Hirschberg 1791—93).

——, Account of a new instrument for measuring small angles, called the prismatic micrometer (London 1778).

Mayer, T., Beschreibung eines neuen Mikrometers: Kosmographische Nachrichten und Sammlungen, 1750.

Pearson, On the double refracting power of rock crystal as a means of micrometrical measurement: Edinburgh Philos. Journal, Bd. III.

——, **W.**, On the double refracting property of rock crystal, considered as a principle of micrometrical measurements, when applied to a telescope: Memoirs of the Roy. Astron. Soc., Bd. I.

Pearson, W., On the construction and use of a mikrometrical eye-piece of a telescope: Memoirs of the Roy. Astron. Soc., Bd. I.

——, On the construction of a new position-micrometer, depending on the doubly-refractive power of rock crystal: Memoirs of the Roy. Astron. Soc., Bd. I.

Pezenas, Description d'un nouveau micromètre appliqué à un télescope de réflexion, mêlée de recherches sur les micromètres et sur la manière de s'en servir: Mémoires de mathématiques et de physique, rédigés à l'observatoire de Marseille (Avignon 1755—56).

Picard, Extrait d'une lettre à Mr. Oldenburg, touchant la manière de prendre les diamètres des planètes: Mémoires de l'Acad. de Paris, 1717.

Pickel, De micrometris, quae filis constant in angulum coëuntibus dissertatio (Dillingen 1772).

Popow, Methodus observandi eclipses luminarium: Nov. comm. Acad. Petrop., Bd. II.

Porro, J., Micromètre à fils visibles par réflexion dans un miroir ou dans un horizon liquide: Comptes rendus de l'Acad. de Paris, Bd. XXXII.

——, Nuovo micrometro per mezzo di linee luminose ad uso dell' astronomia: Astronomische Nachrichten, Bd. XLVIII, Nr. 1133.

Powell, B., Nouveau micromètre à double image: L'Institut, 1846, Nr. 648.

Ramsden, On two new micrometers: Philos. Trans., 1779.

Regnér, De usu campi telescopii micrometrico (Upsala 1800).

Reslhuber, A., Ueber Stampfer's Lichtpunktmikrometer im Fernrohre des Meridiankreises der Sternwarte zu Kremsmünster. Mit einem Zusatze von Stampfer: Wiener Sitzungsberichte; mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Bd. XX.

Rochon, Recueil de mémoires sur la mécanique et la physique (Paris 1783).

——, Mémoire sur les verres achromatiques adaptés à la mesure des angles, et sur les avantages, que l'on peut tirer de la double réfraction pour la mesure précise des petits angles: Mém. des Soc. Sav. et Littér., Bd. I.

——, Explication des usages, auxquels on peut employer utilement les lunettes, qui donnent deux images du même objet par l'effet de la double réfraction du cristal de roche: Nova acta Acad. Petrop., Bd. VI.

Römer in Horrebow's Basis astronomiae, c. 13.

Santini, G., Notizie intorno al micrometri formati nel campo oscuro di un cannocchiale con lince chlare e punti luminosi: Accademia del Cimento, Bd. VI.

Savery, A new way of measuring the diameter of the sun, with a micrometer etc. (Read 1643). With a letter of J. Short: Philos. Trans., 1753.

Schröter, Ueber ein neues Scheibenlampenmikrometer, welches nicht nur den Durchmesser einer planetarischen Scheibe, sondern auch die Lage eines jeden Punktes innerhalb derselben unmittelbar angibt: Voigt, Magazin für das Neueste aus der Physik, Bd. V, Stück IV.

Schulze, Beschreibung eines neuen Mikrometers: Bode's Jahrbuch, 1782.

Secchi, Ueber ein Doppelbildmikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. XLVIII, Nr. 1148.

——, Sur un nouveau système de micromètres pour les lunettes astronomiques: Comptes rendus, Bd. XLI.

——, Essai de différents micromètres: Comptes rendus, Bd. XLVI.

Segner, De extendendo campo micrometrico: Comment. Soc. Reg. Gotting., 1751.

Smeaton, Observation of the ascensio recta and declinatio of Mercury with an equatoreal micrometer: Philos. Trans., 1787.

Stampfer, Vorschlag eines neuen Fernrohrmikrometers mit hellen Linien und Punkten im Gesichtsfelde: Annalen der k. k. Sternwarte in Wien, Bd. XXI, Neue Folge, Bd. I.

Steinheil, Ueber ein neues Netzmikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. V, Nr. 117.

——, Ocularprismen-Heliometer: Astronomische Nachrichten, Bd. XXVI, Nr. 609.

——, Ocular-Heliometer: Gelehrte Anzeigen der münchner Akademie, 1843, Bd. I, Nr. 41.

Struve, Ueber ein Fraunhofer'sches Filarmikrometer: Astronomische Nachrichten, Bd. IV, Nr. 22.

——, L'Héliomètre de Merz et Mahler: Description de l'observatoire de Poulkova, S. 205.

Swan, W., Description of a new position micrometer: Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh, 1851, Bd. XX.

Townley, R., Of an instrument (of Gascoigne) for dividing a foot into many thousand parts and thereby measuring the diameters of planets: Philos. Trans., 1667.

Utzschneider, Sur les nouveaux micromètres annulaires de Fraunhofer: v. Zach, Corresp. astron., Bd. V.

Valz, B., Sur un nouveau micromètre réticulaire: v. Zach, Corresp. astron., Bd. III.

——, De l'emploi des micromètres et des réticules dans les observations obliques: Astronomische Nachrichten, Bd. VII, Nr. 159.

Watt, Jam., Account of micrometers for measuring distances: Edinburgh Philos. Journal, Bd. II.

Weickert, De micrometris duplicem imaginem proferentibus (Leipzig 1811).

Wilcke, J. C., Versuch eines neuen Perspectivmikrometers, damit die Gegenstände, die man im Fernrohre und Mikroskope findet, können abgezeichnet werden: Kongl. Svenska Vetenskaps Academiens Handlingar, 1772.

——, De novo telescopii usu ad objecta determinanda: Acta Eruditorum, Bd. XL.

Wollaston, A description of a new system of wires in the focus of a telescope: Philos. Trans., 1785.

——, Description of a single lens micrometer: Philos. Trans., 1813.

——, On the methods of cutting rock cristal for micrometers: Philos. Trans., 1820.

Zahn, J., Oculus artificialis teledioptricus sive telescopium e triplici fundamento stabilitum (Würzburg 1685—86).

Zanotti, E., De micrometri cujusdam ratione: De Bononiensi Academia commentarii, II, 1746.

Zucconi, De Heliometri structura et usu (Venedig 1760). (Lalande gibt in seiner Bibliographie astronomique, S. 470, als den Verfasser dieser Schrift Louis Zucconi an.)

Druck von F. A. Brockhaus in Leipzig.

Fig. 1.

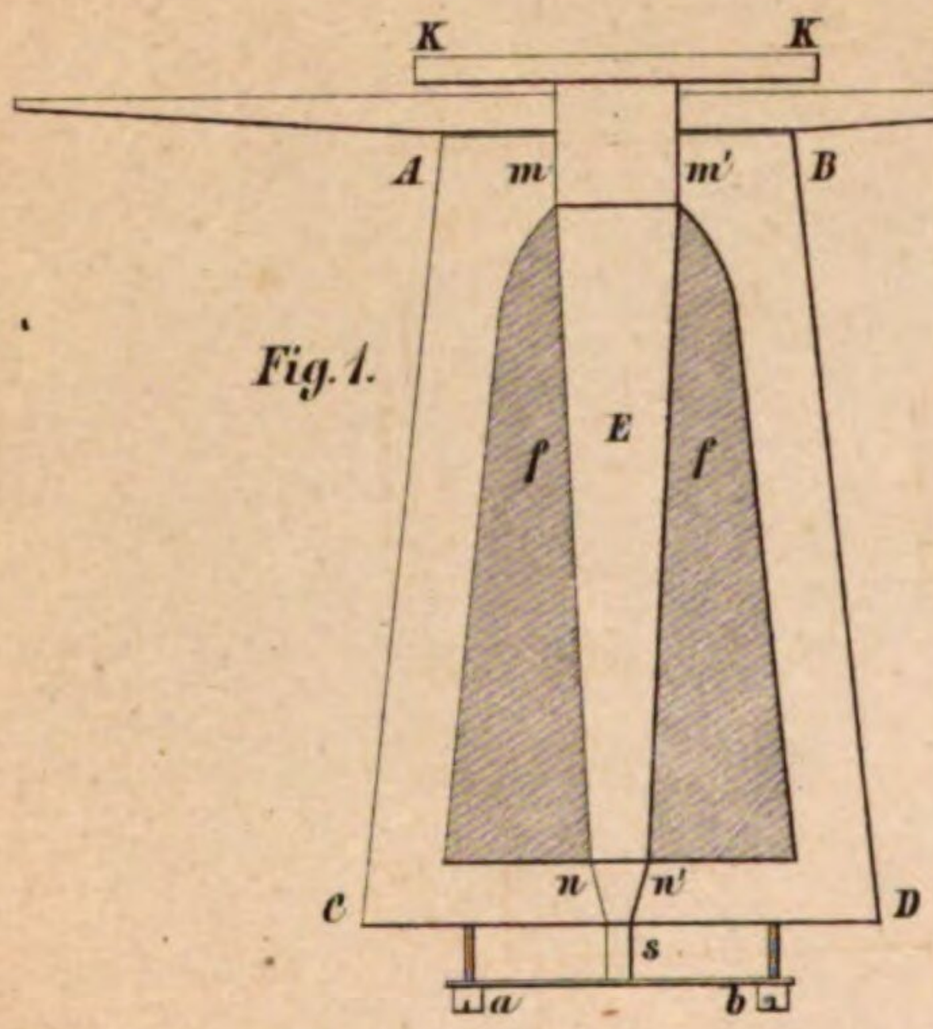


Fig. 2.

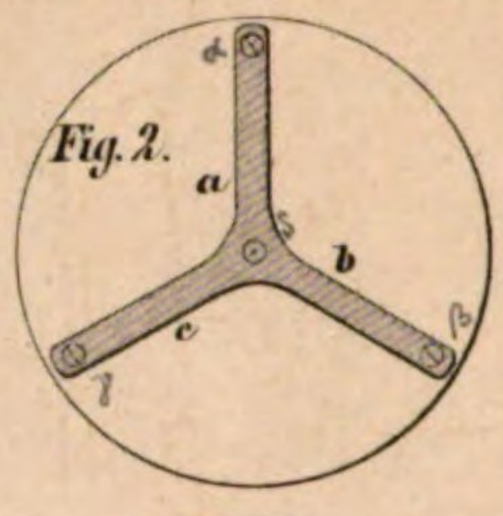


Fig. 3.

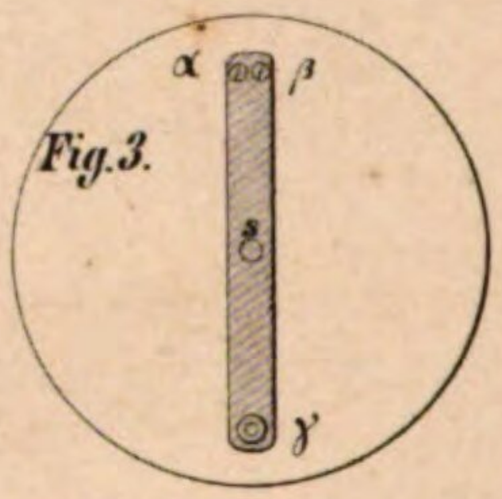


Fig. 4.

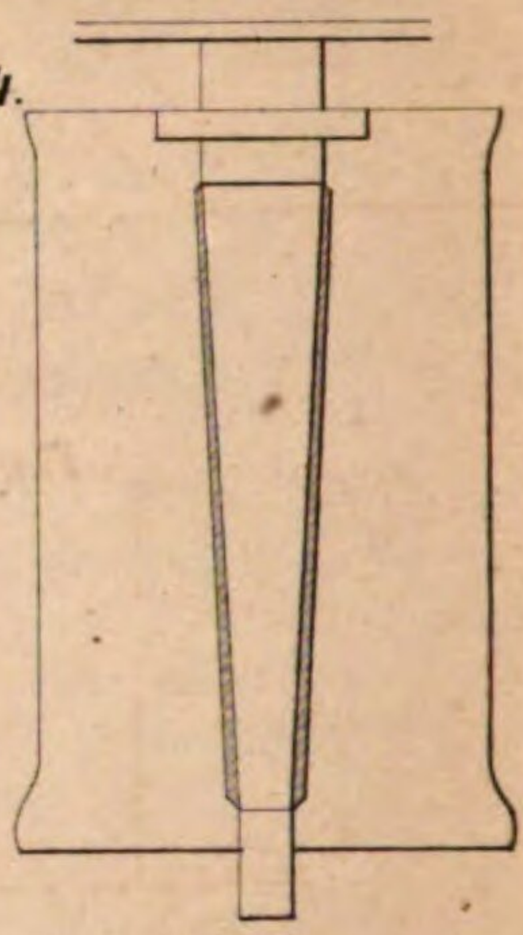


Fig. 6.

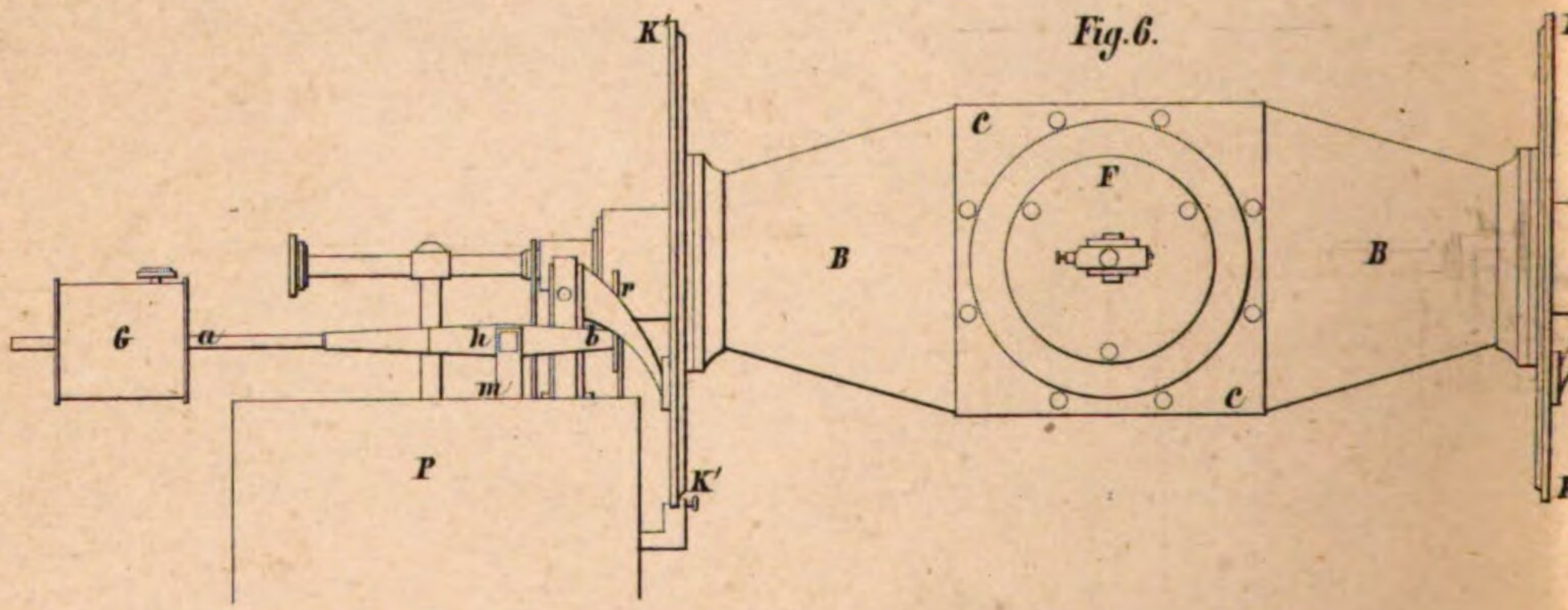


Fig. 7.

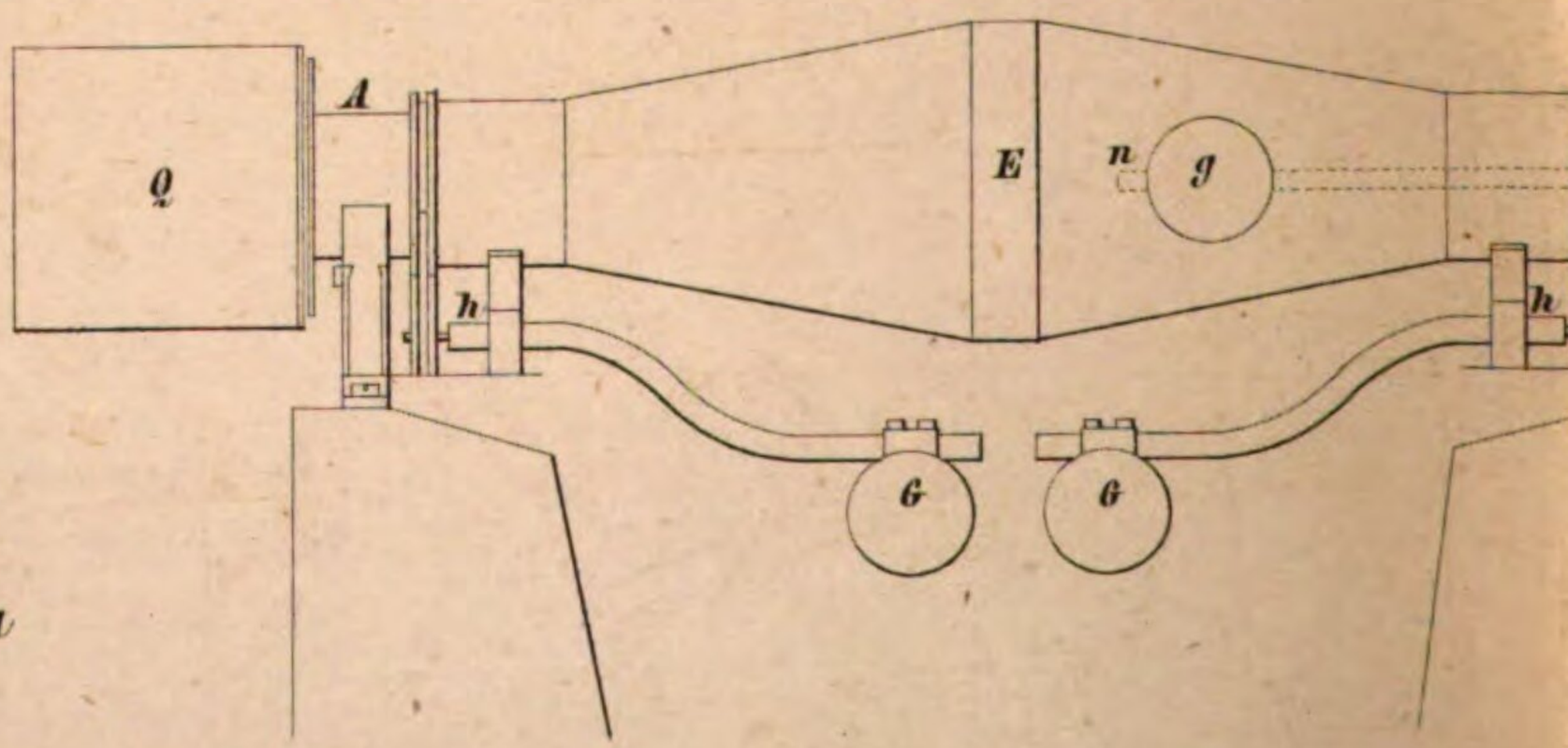


Fig. 20.

Artist. Anstalt d. Landes Indu

Fig. 8.

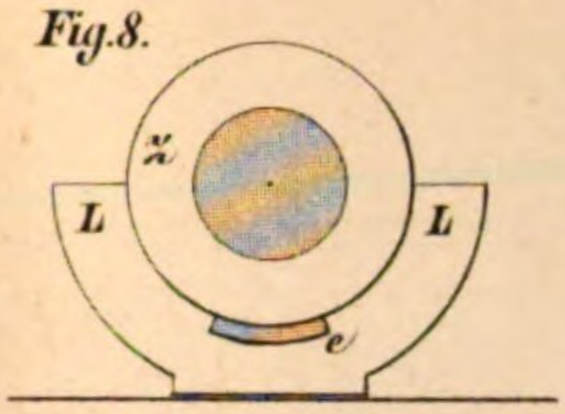


Fig. 12.

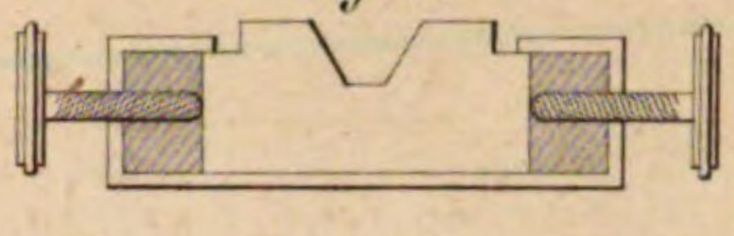


Fig. 11.

Fig. 5.

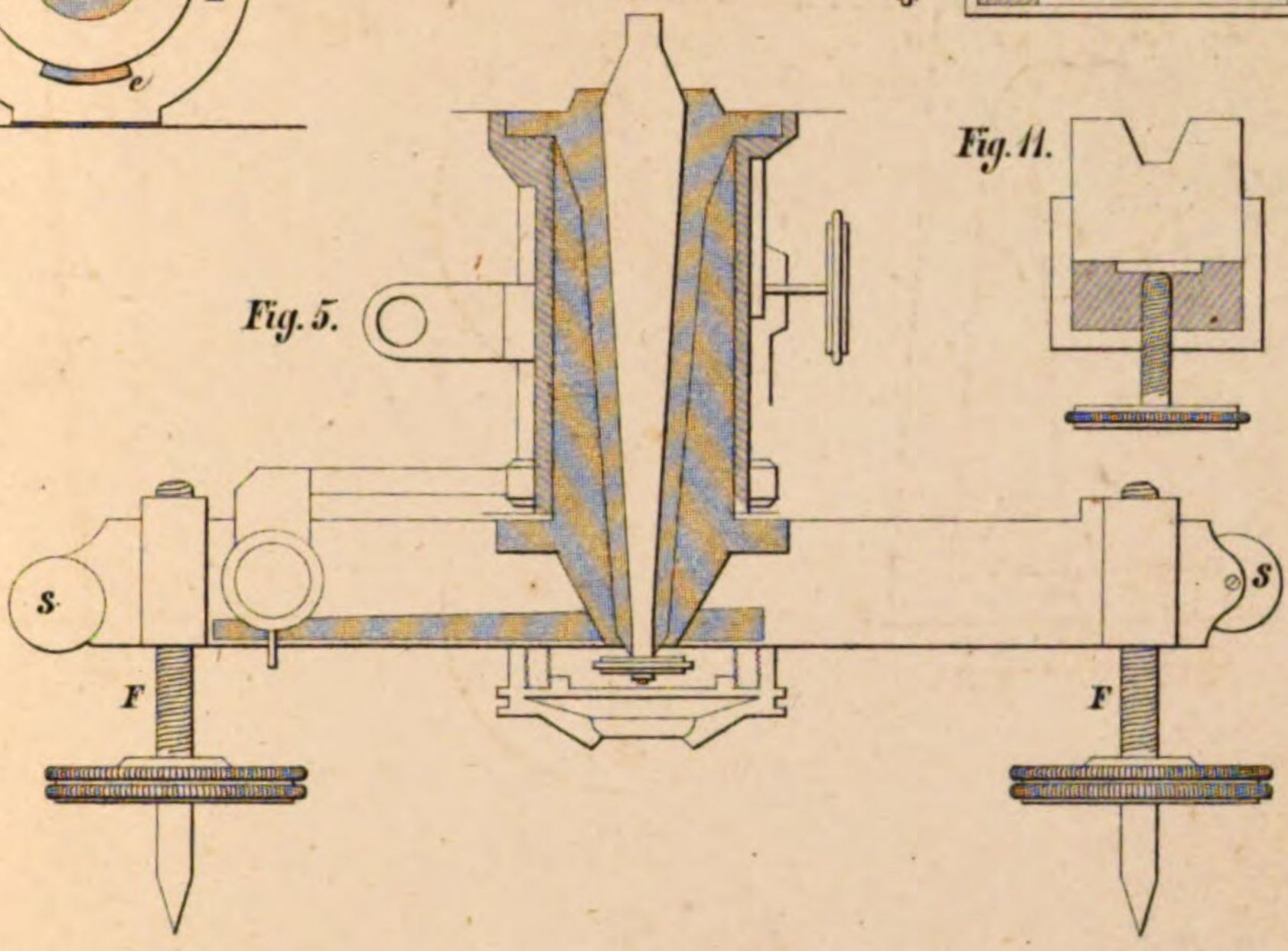


Fig. 9.

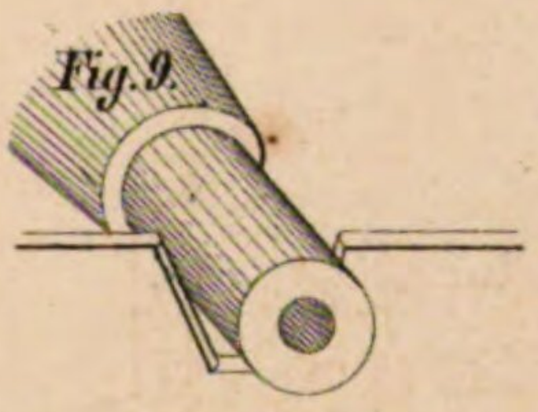
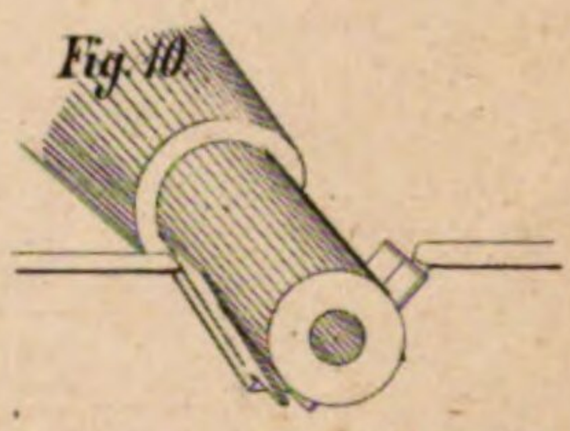
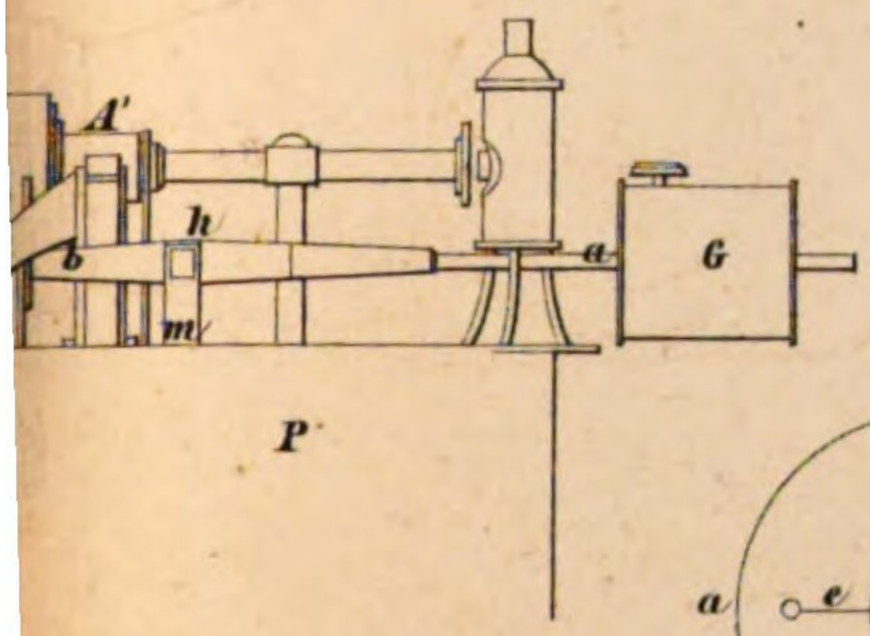


Fig. 10.





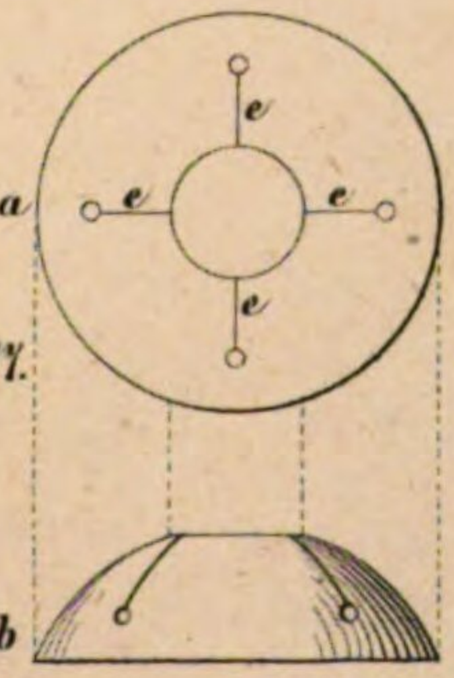
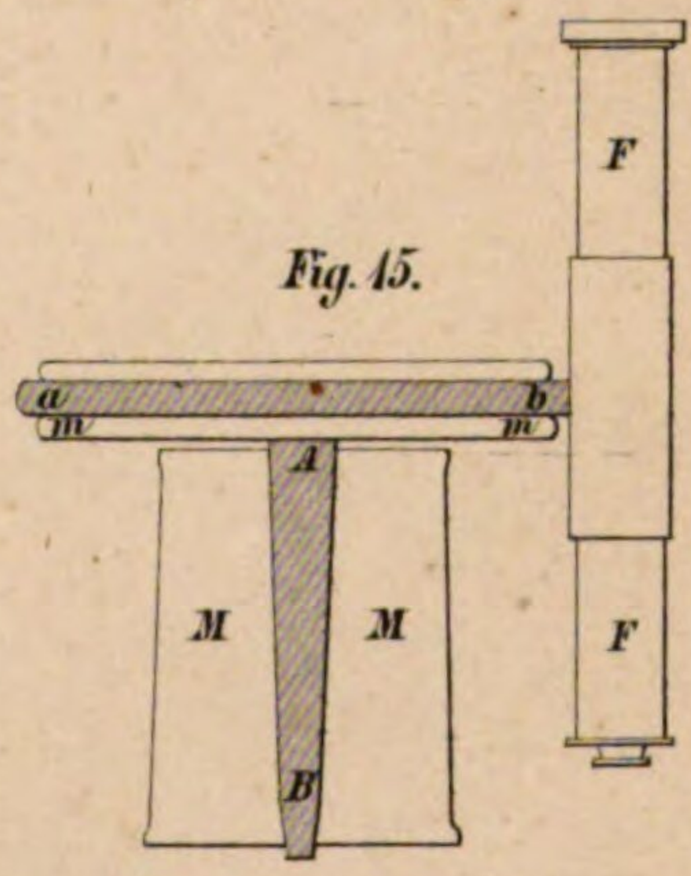


Fig. 17.

Fig. 15.



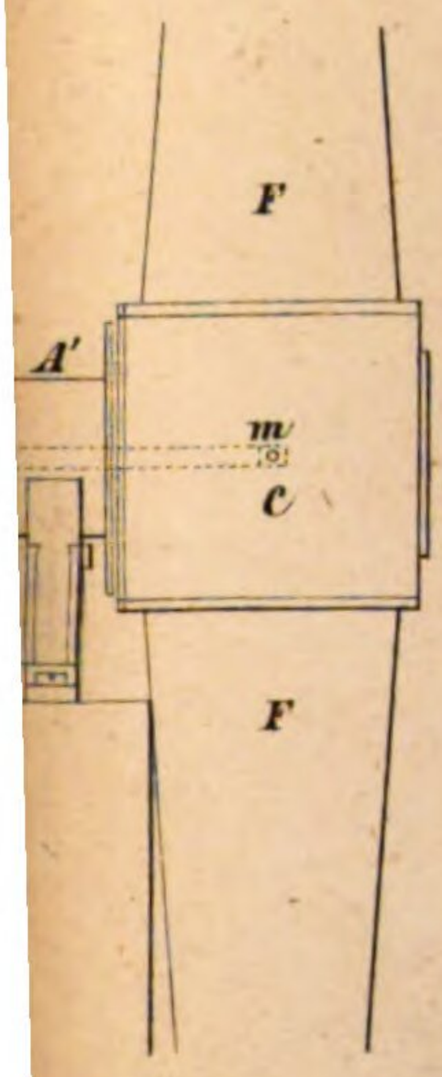


Fig. 18.

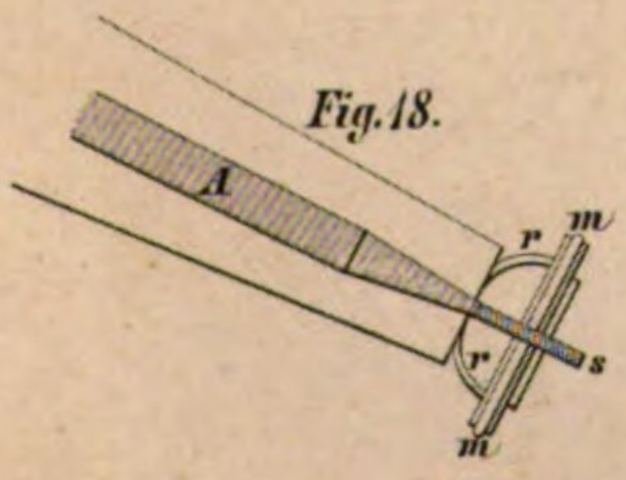
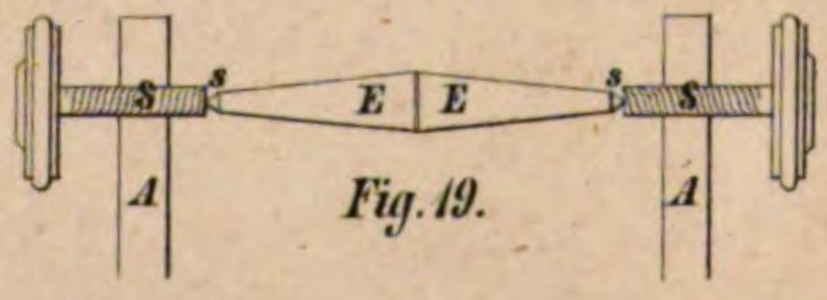


Fig. 19.



ie Comptoirs in Weimar.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

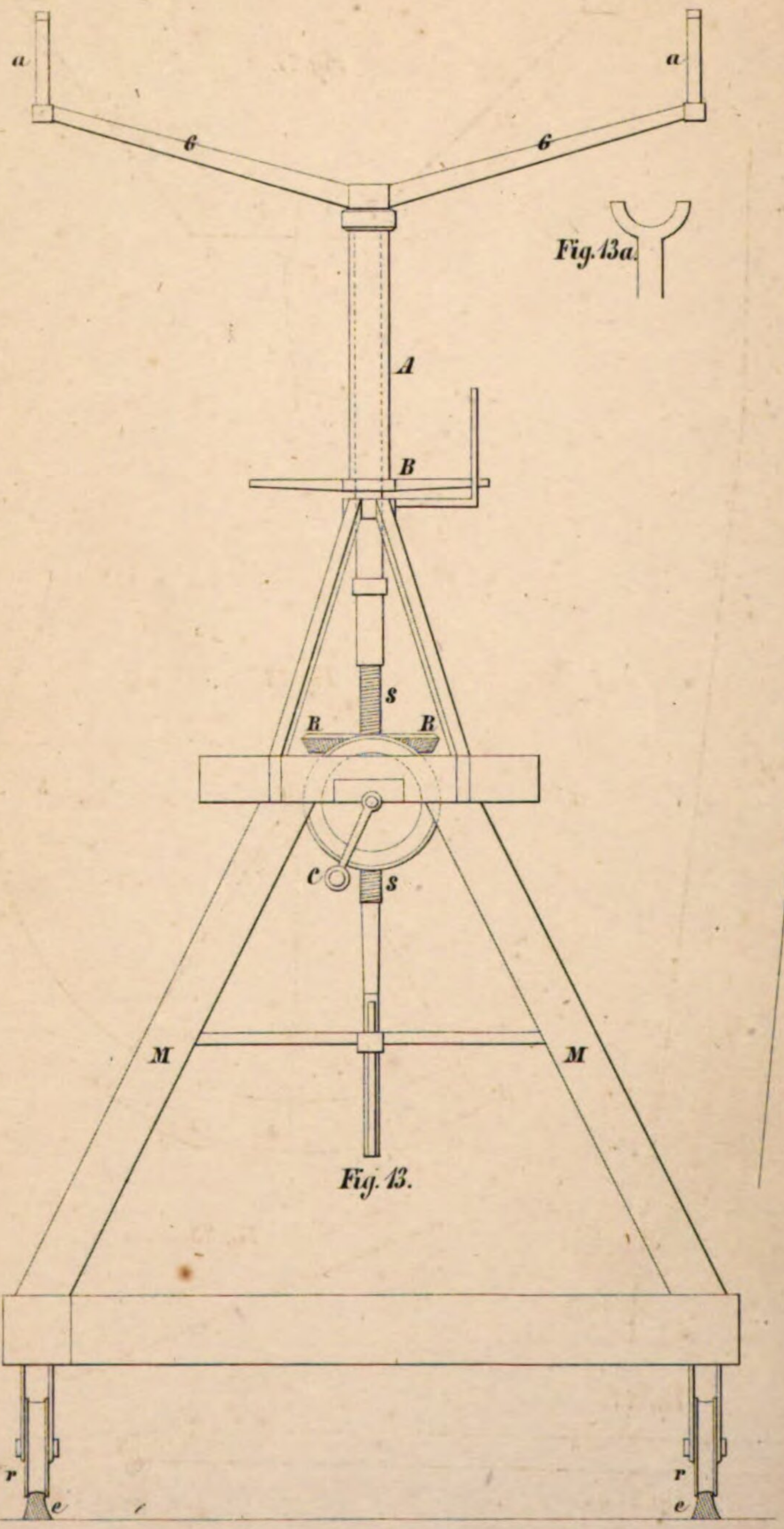


Fig. 13.

Fig. 13a.

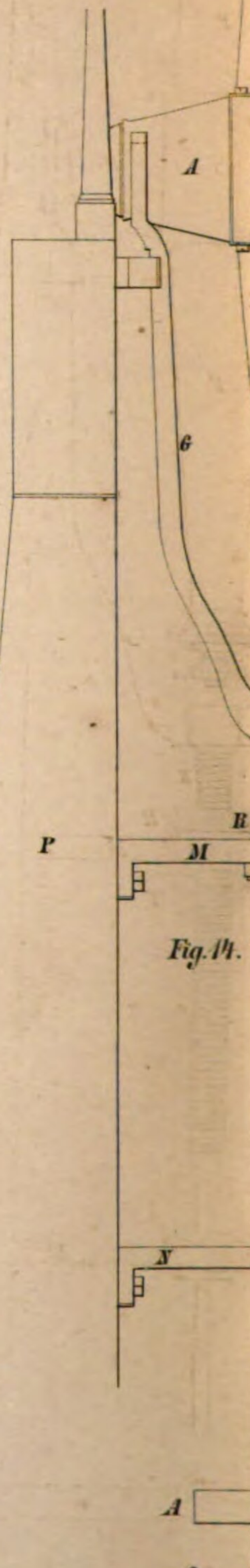
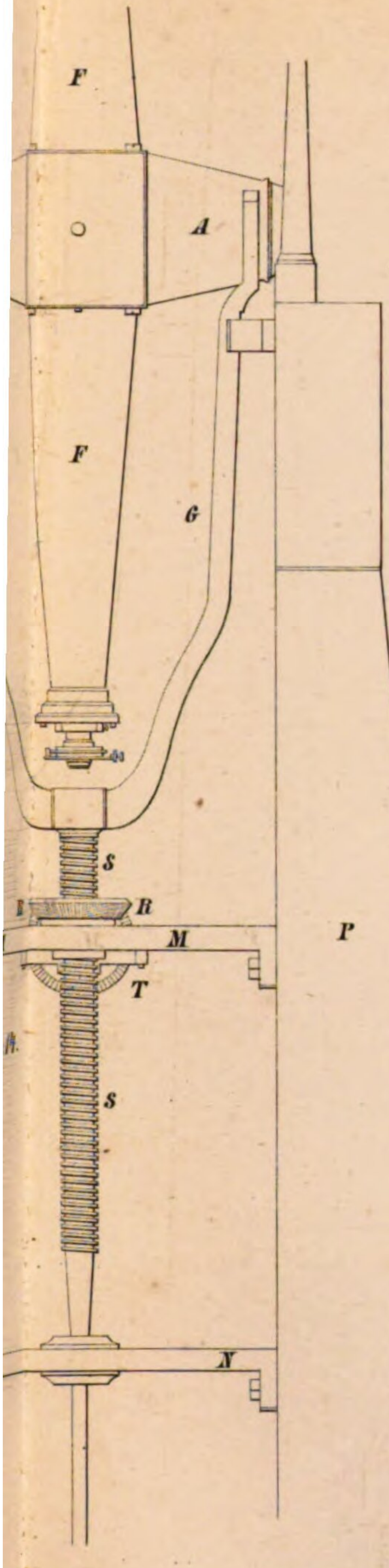


Fig. 14.



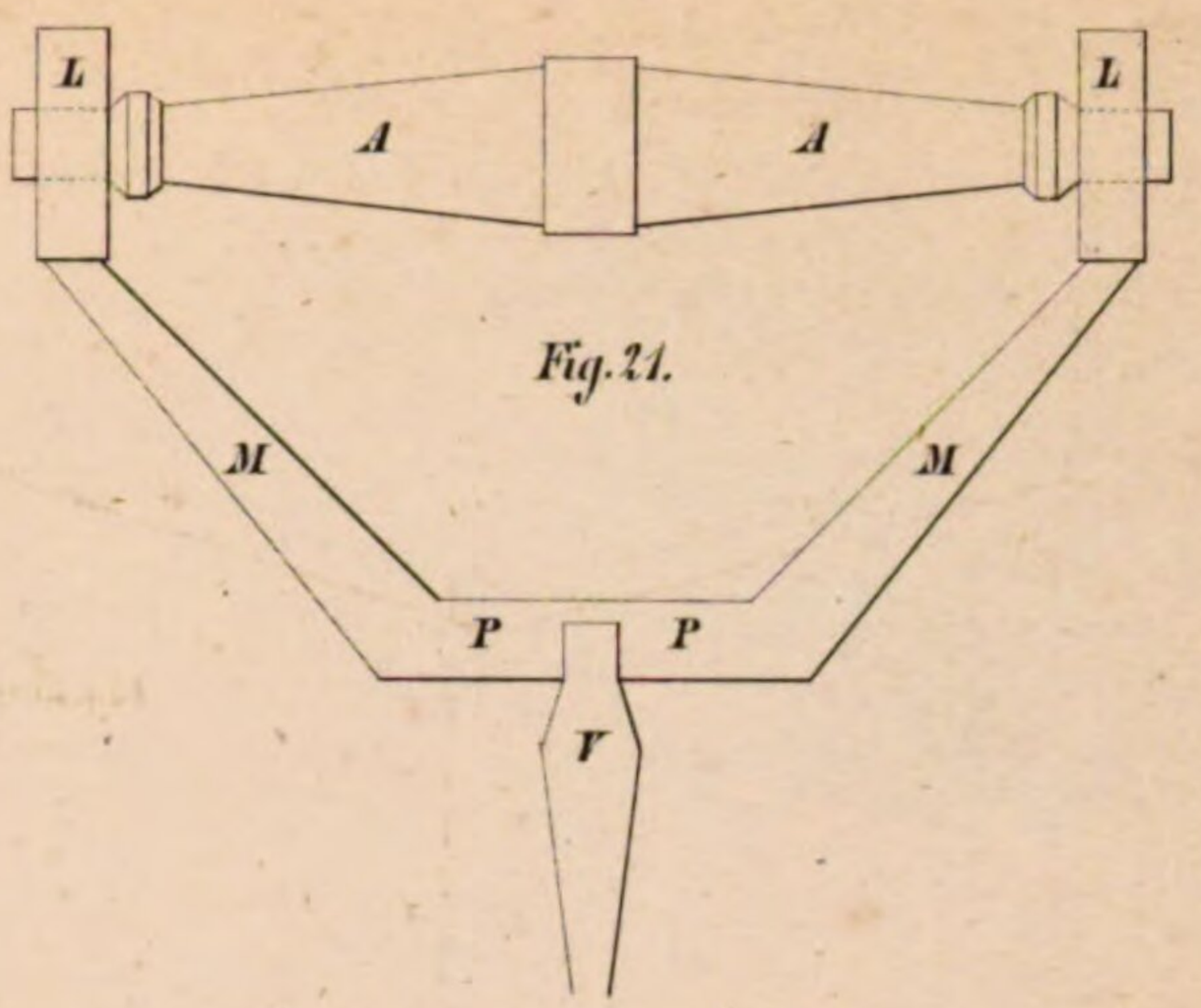


Fig. 21.

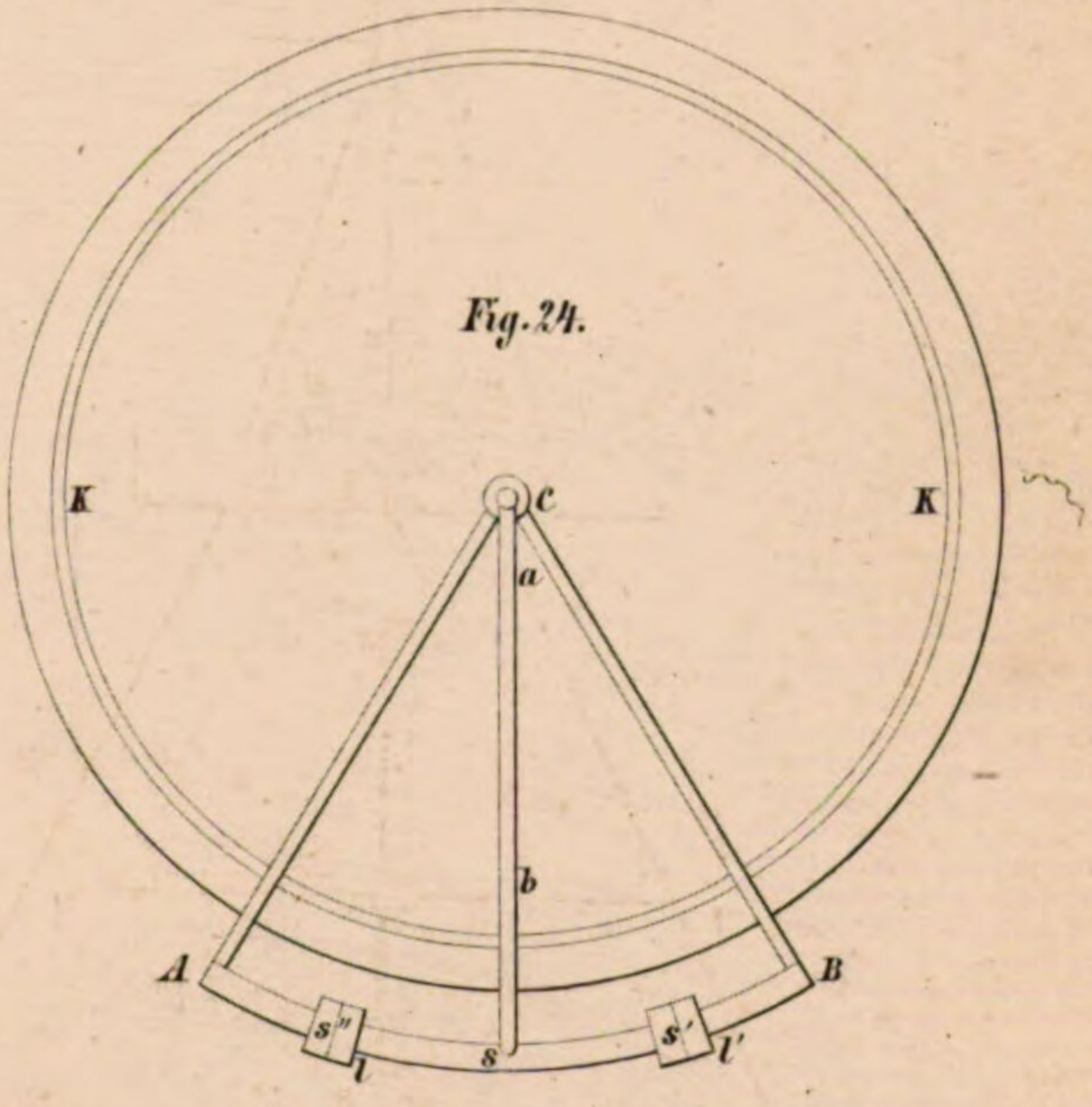


Fig. 24.

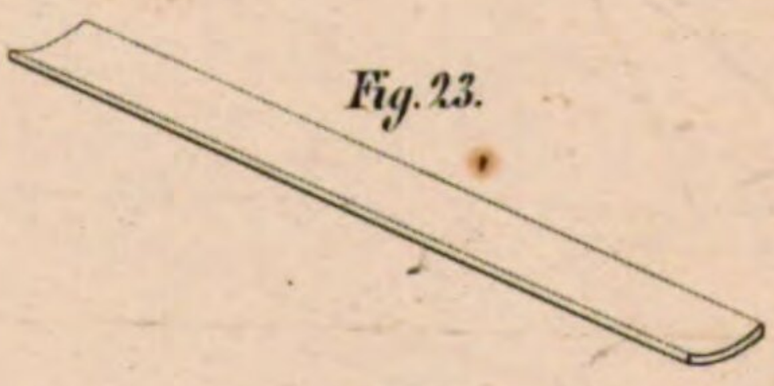


Fig. 23.

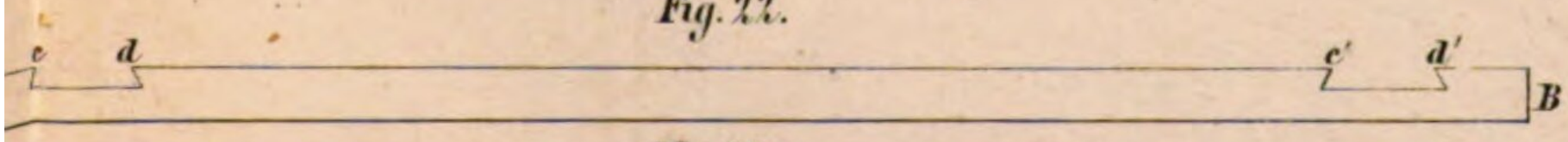


Fig. 22.

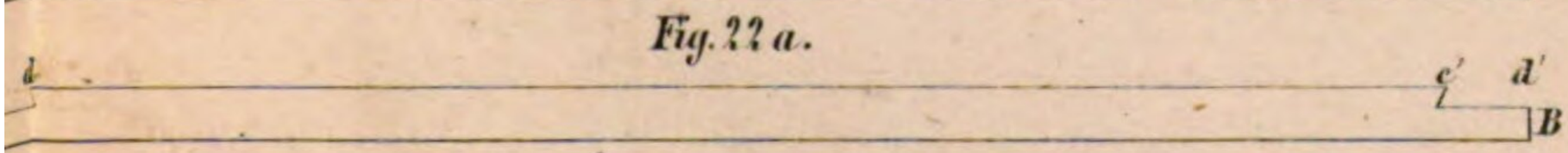


Fig. 22 a.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

Industrie Comptoirs in Weimar.

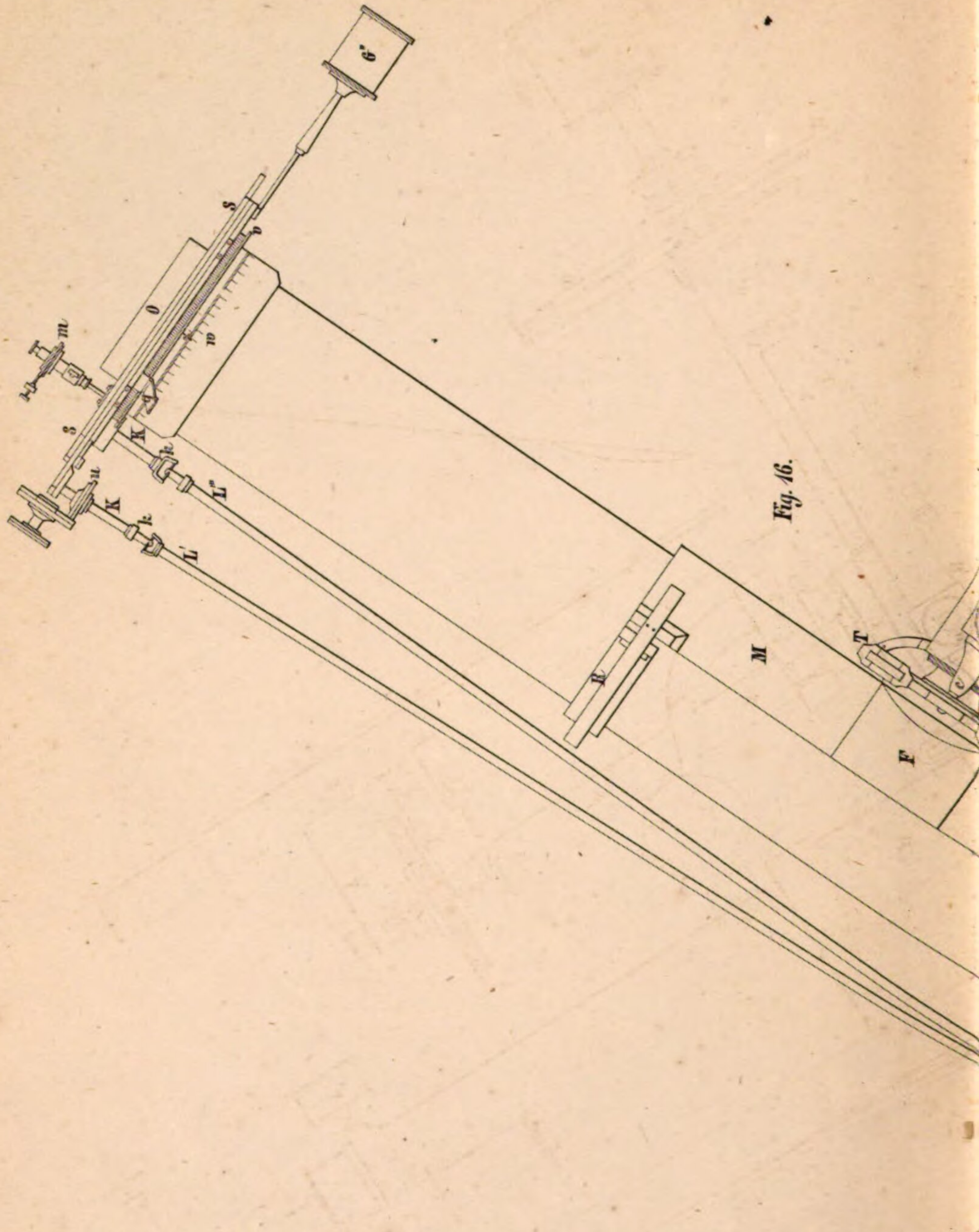
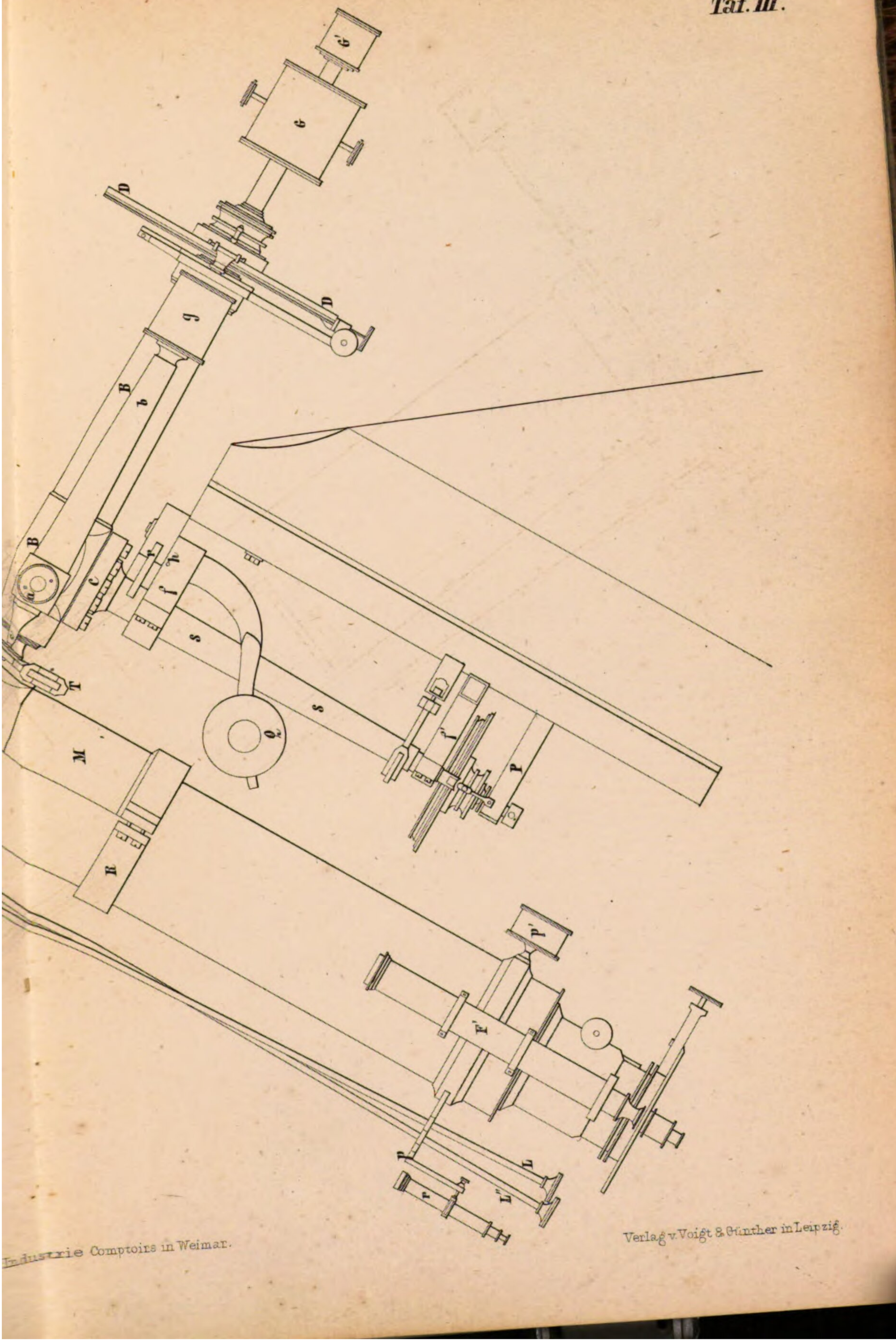


Fig. 16.



Industrie Comptoirs in Weimar.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

Fig: 25.

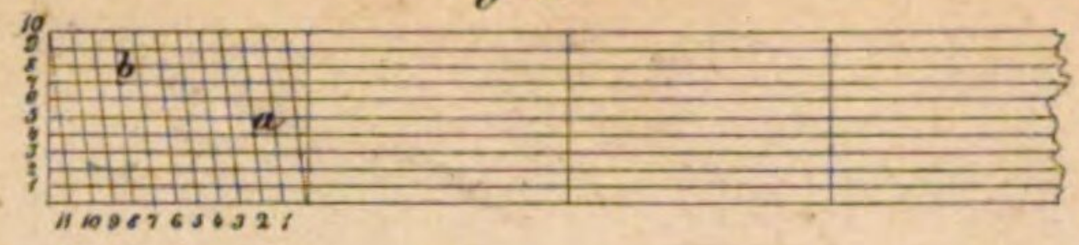


Fig: 26.

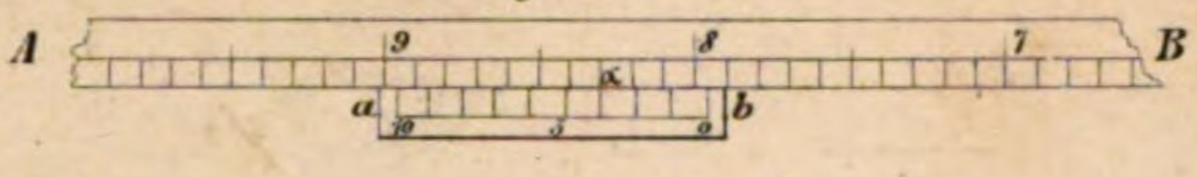
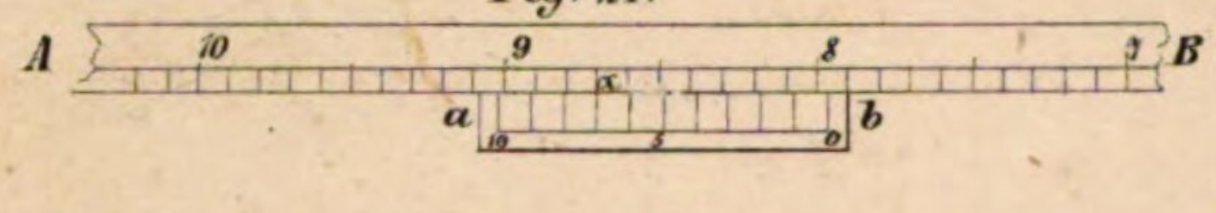


Fig: 27.



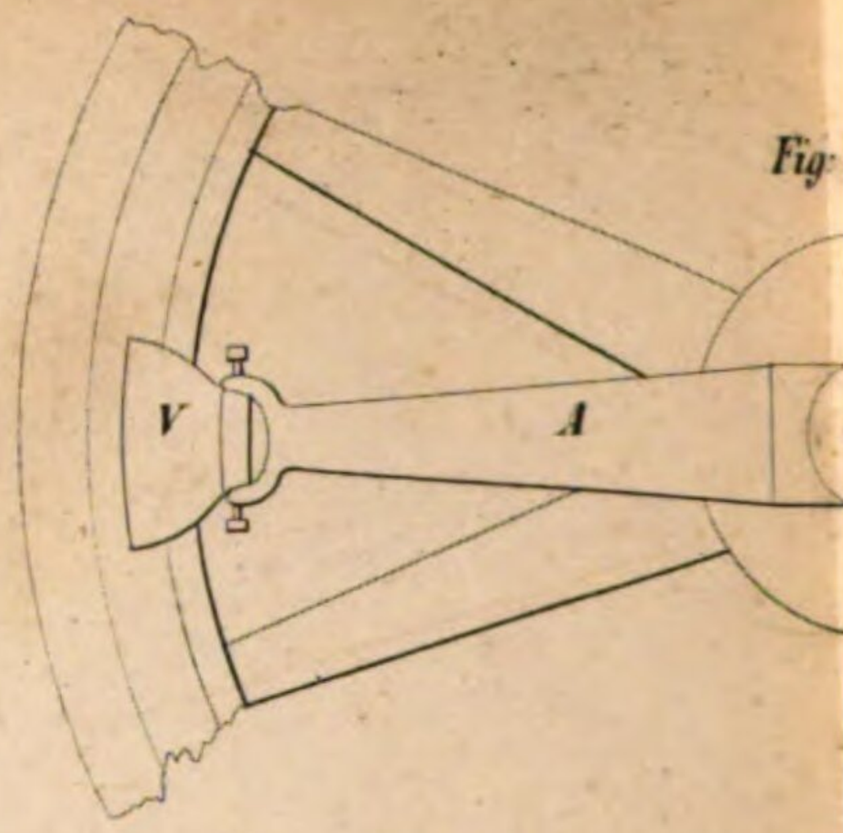


Fig:

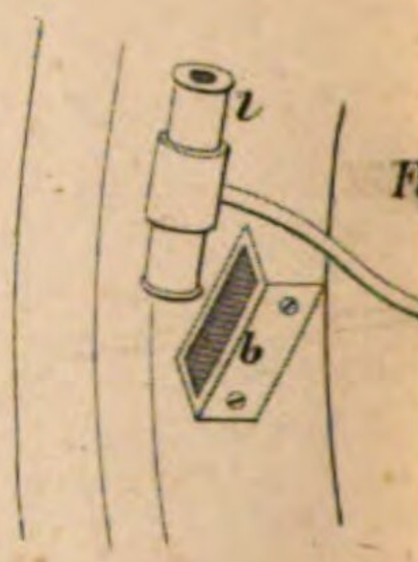


Fig: 29.

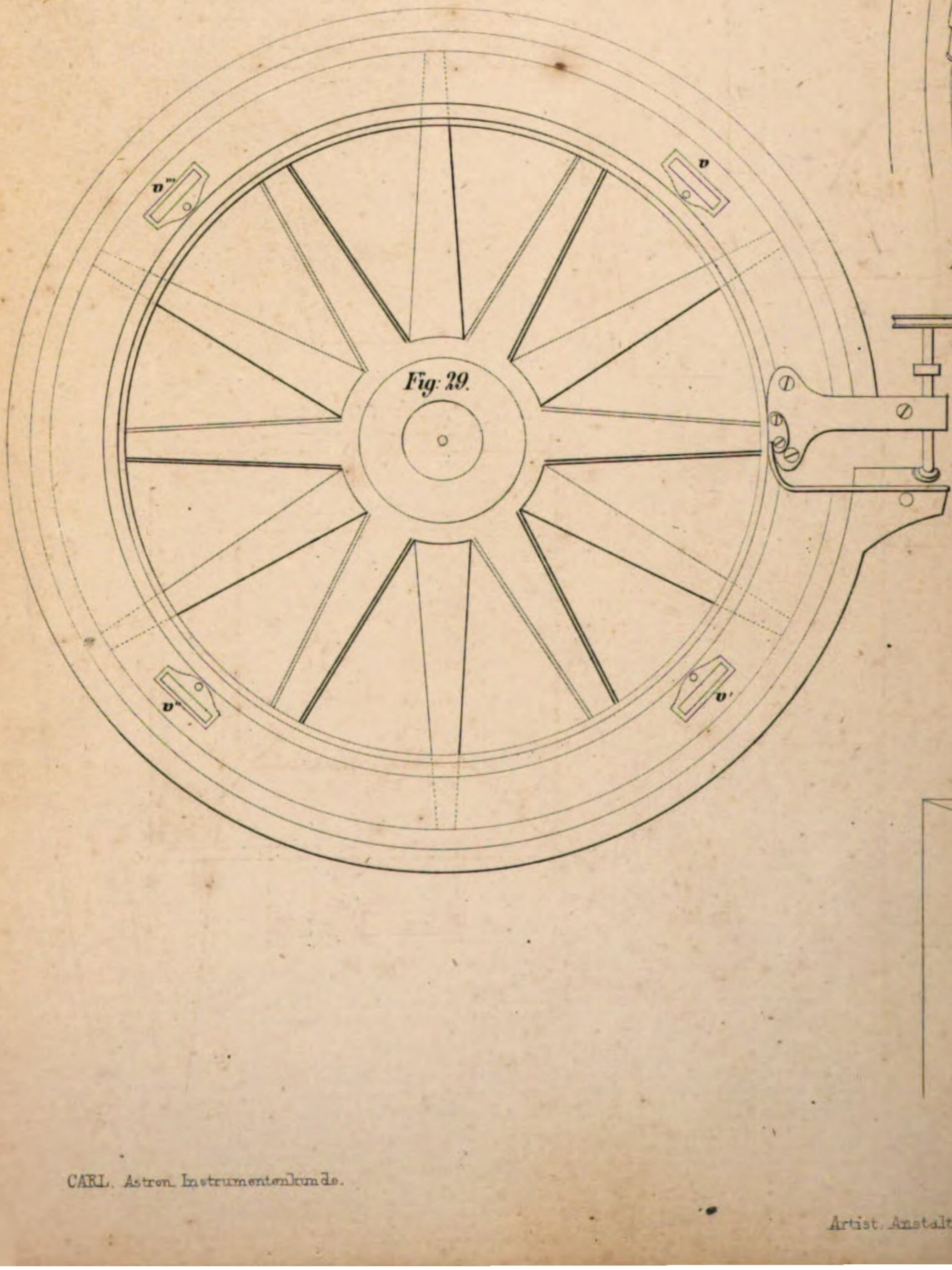
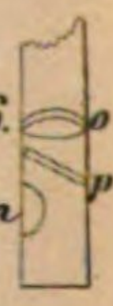
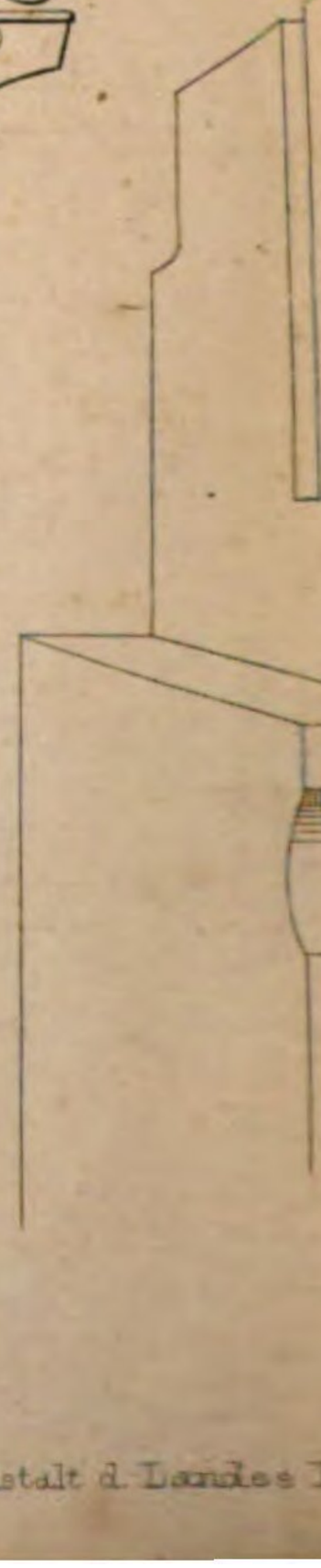


Fig: 36.





CARL. Astron. Instrumentenkunde.

Artist. Anstalt d. Leuckart'schen

Fig: 28.

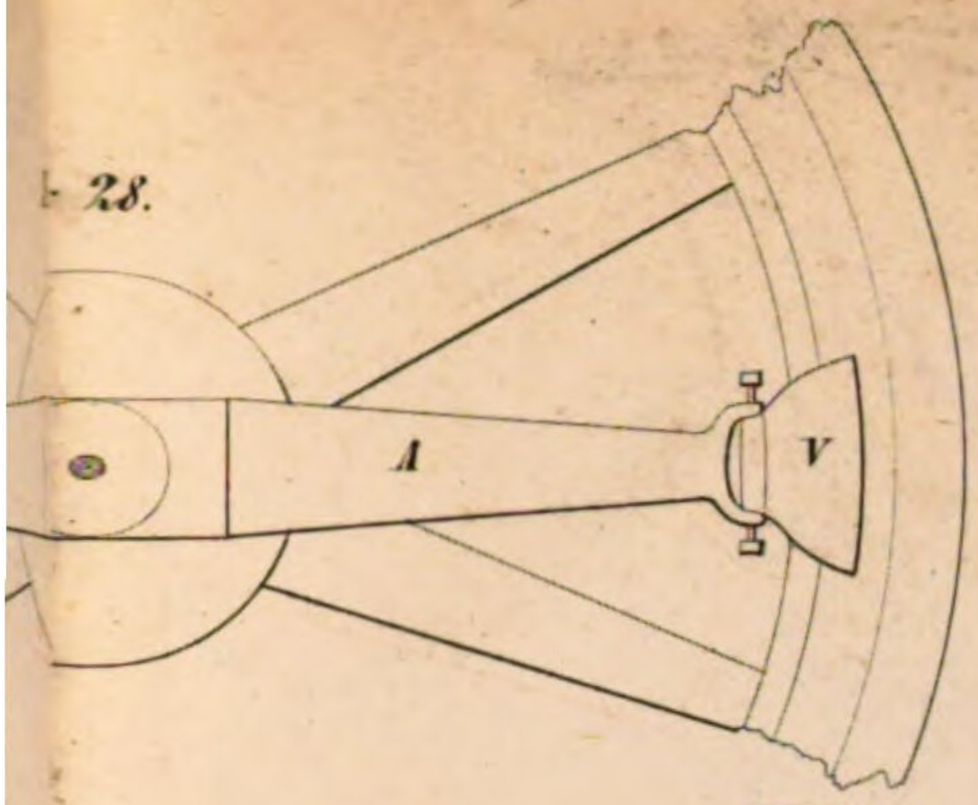


Fig: 32.

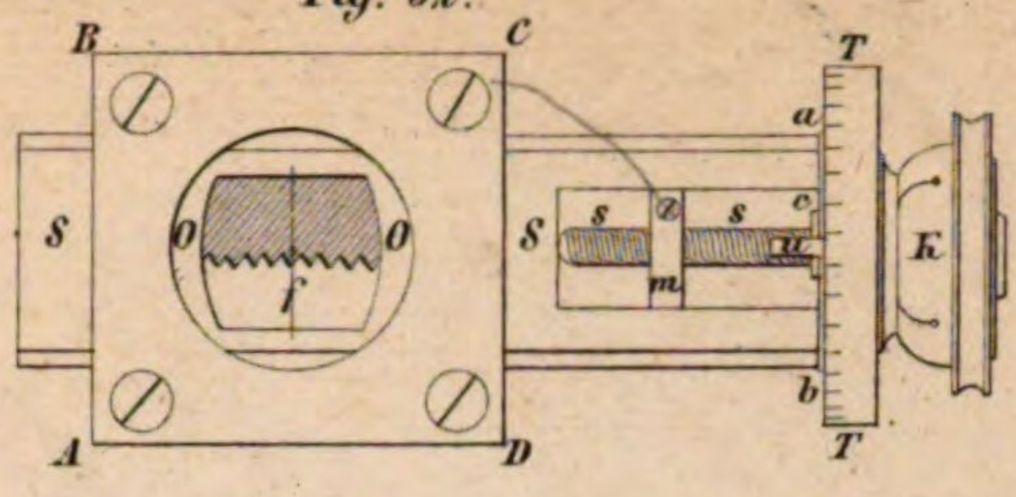


Fig: 34.

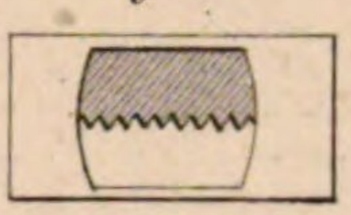


Fig: 33.

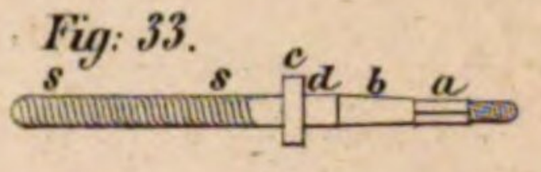


Fig: 30.

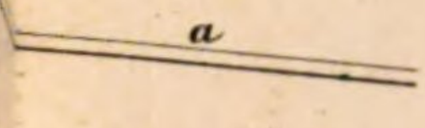


Fig: 31.

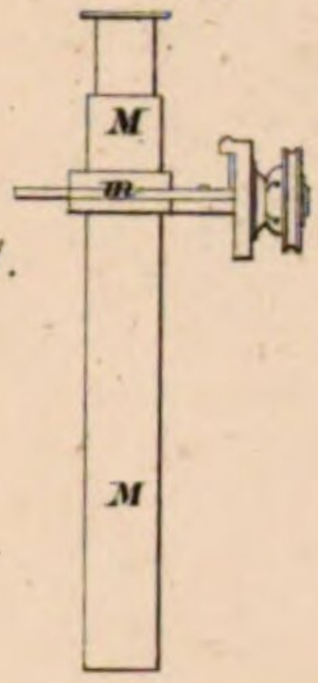


Fig: 35.

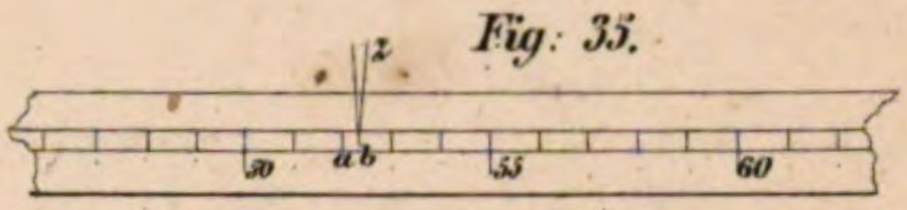


Fig: 37.

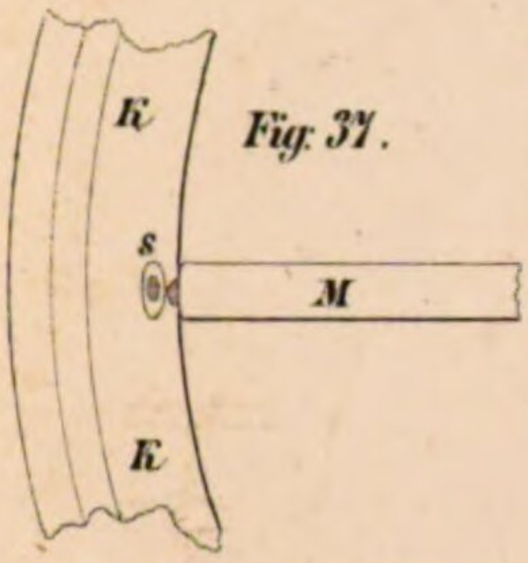


Fig: 38a.

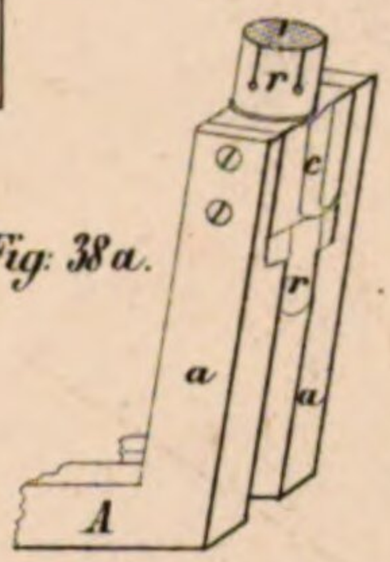
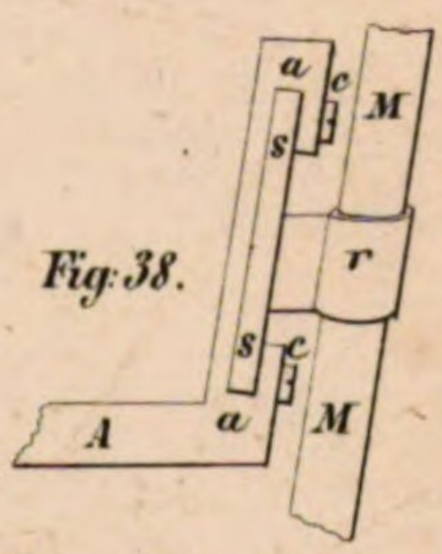


Fig: 38.



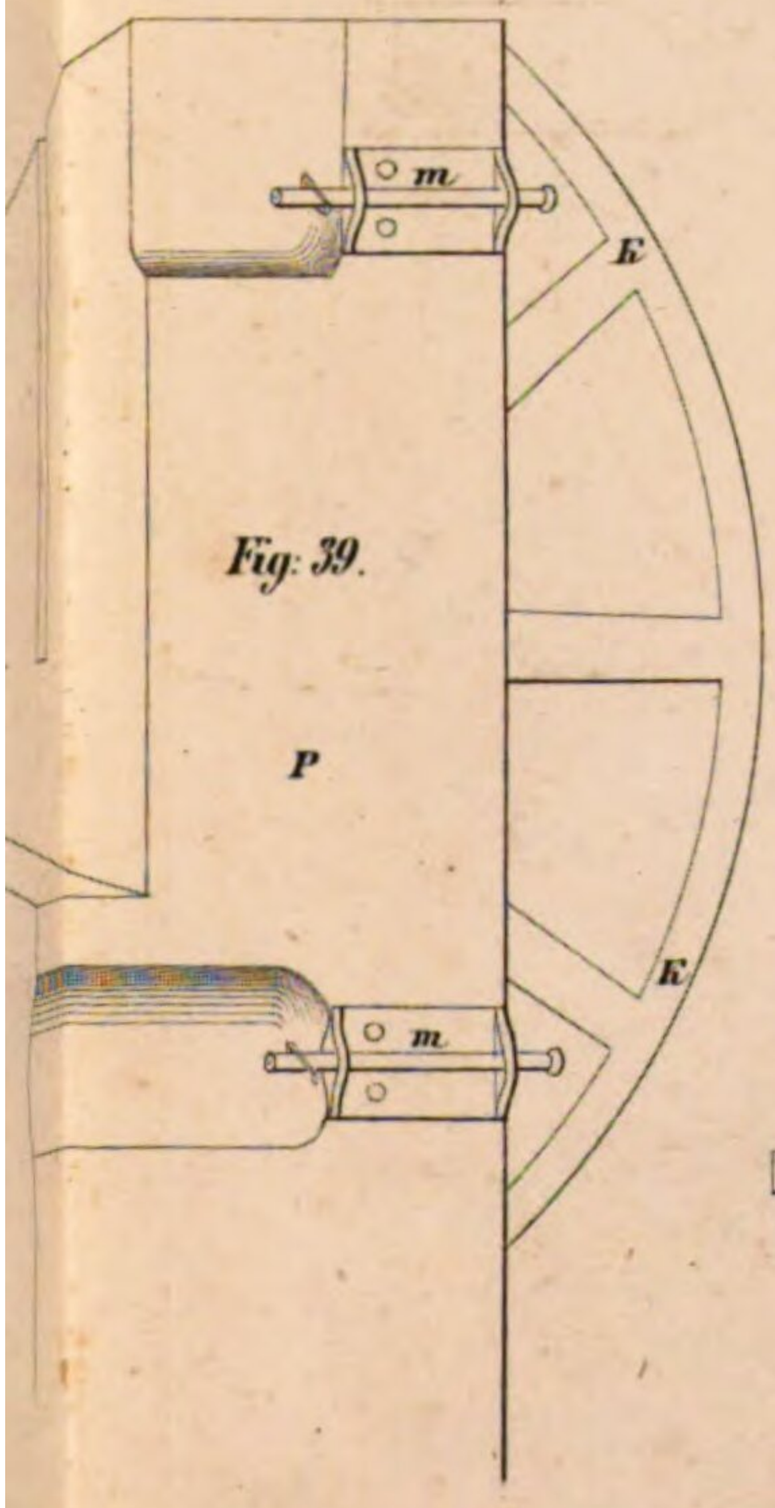


Fig: 39.

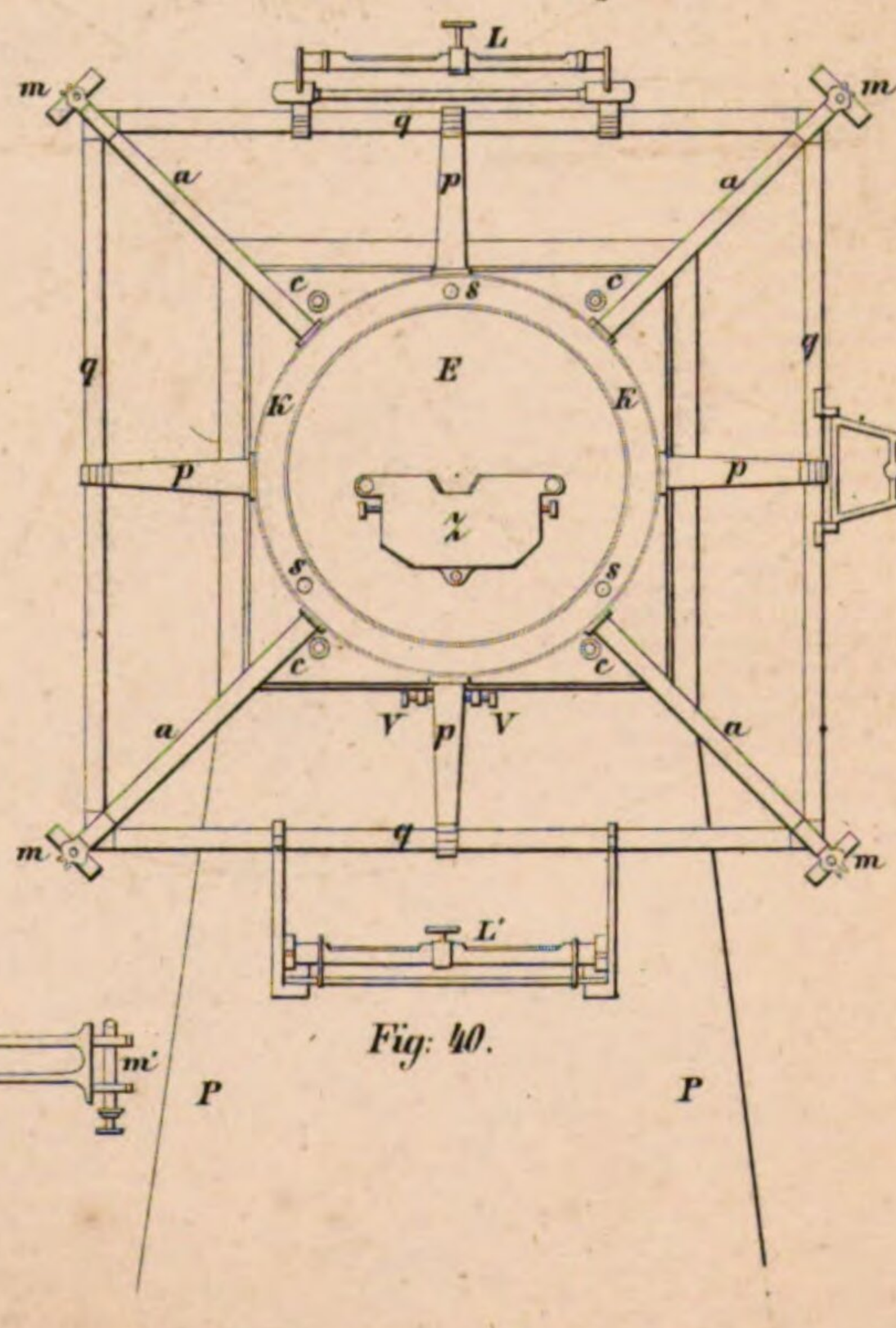
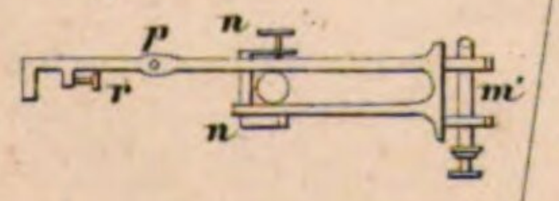


Fig: 40.

Fig: 40a.



Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

...ustrie Comptoirs in Weimar.

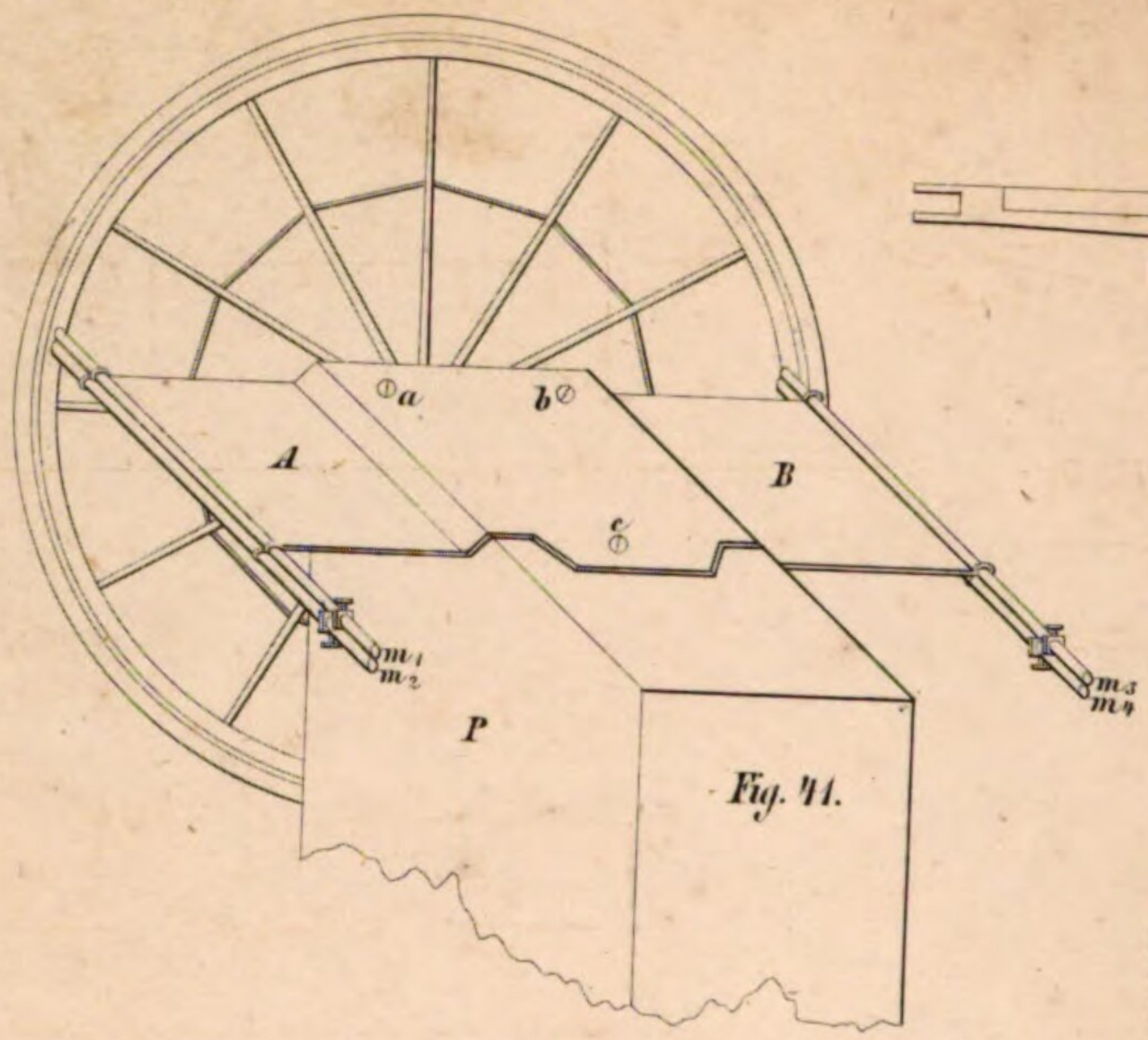


Fig. 41.

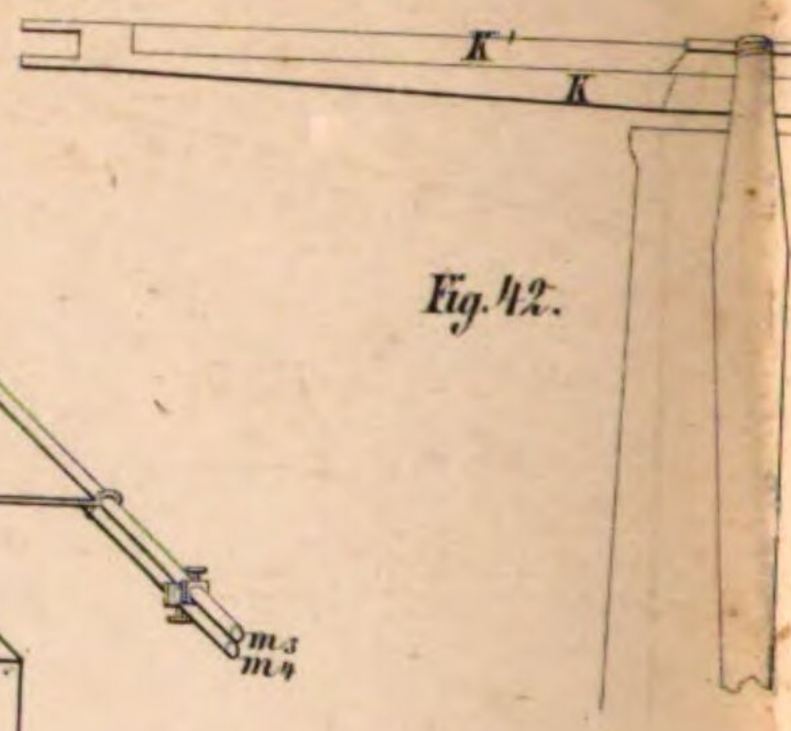


Fig. 42.

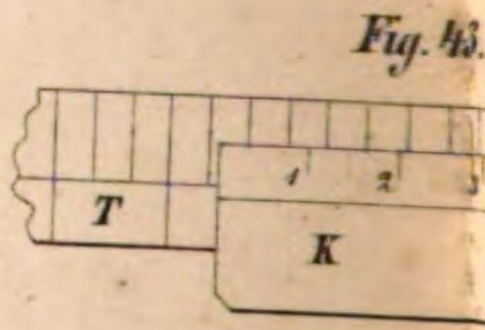


Fig. 43.

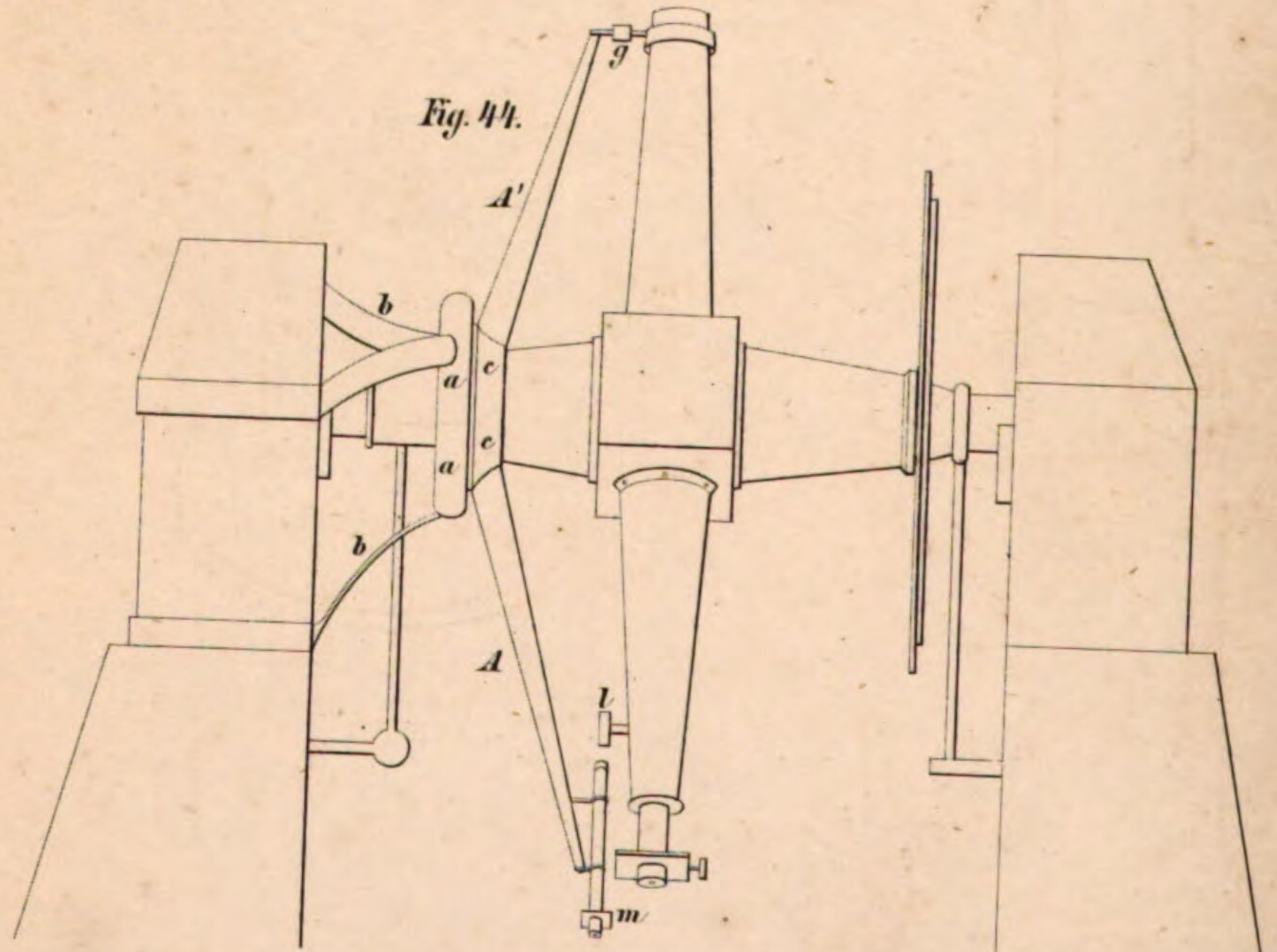
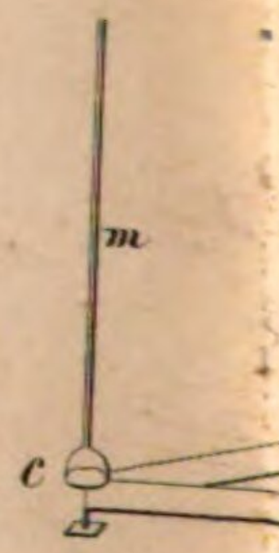


Fig. 44.



Artist. Anstelt d. Landes

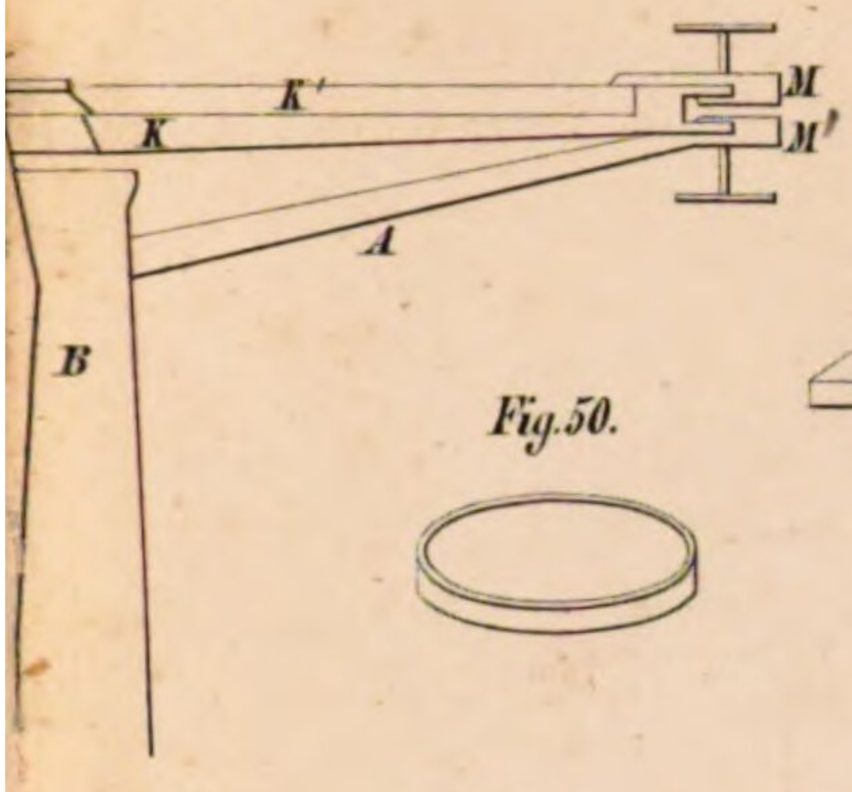


Fig. 50.

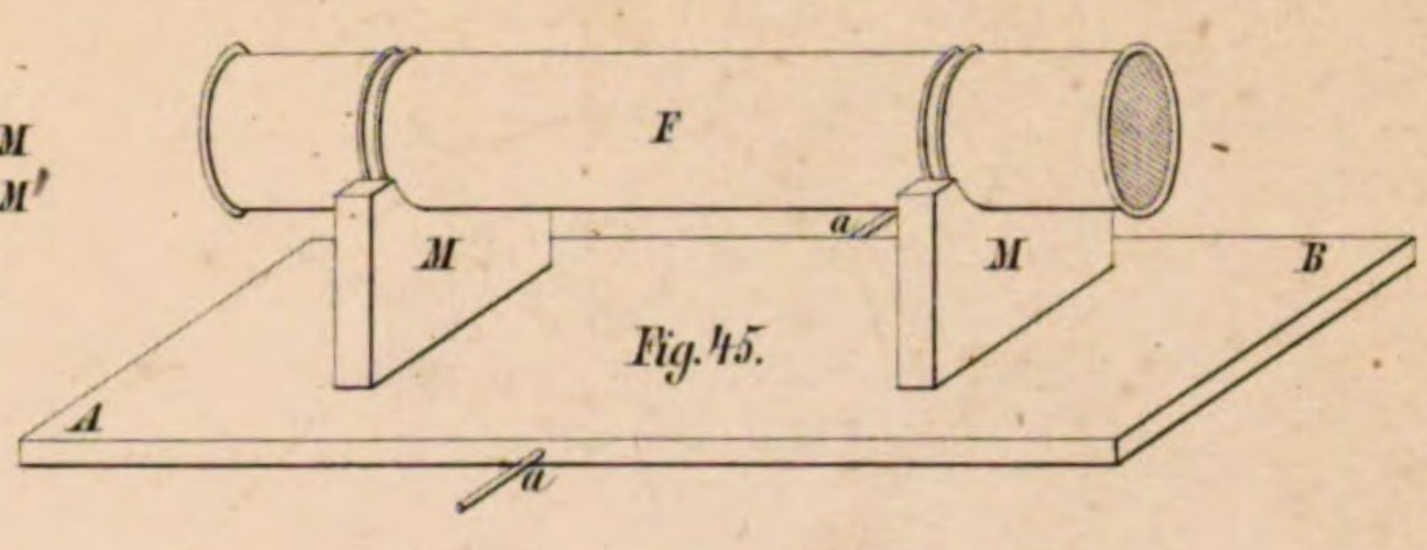


Fig. 45.

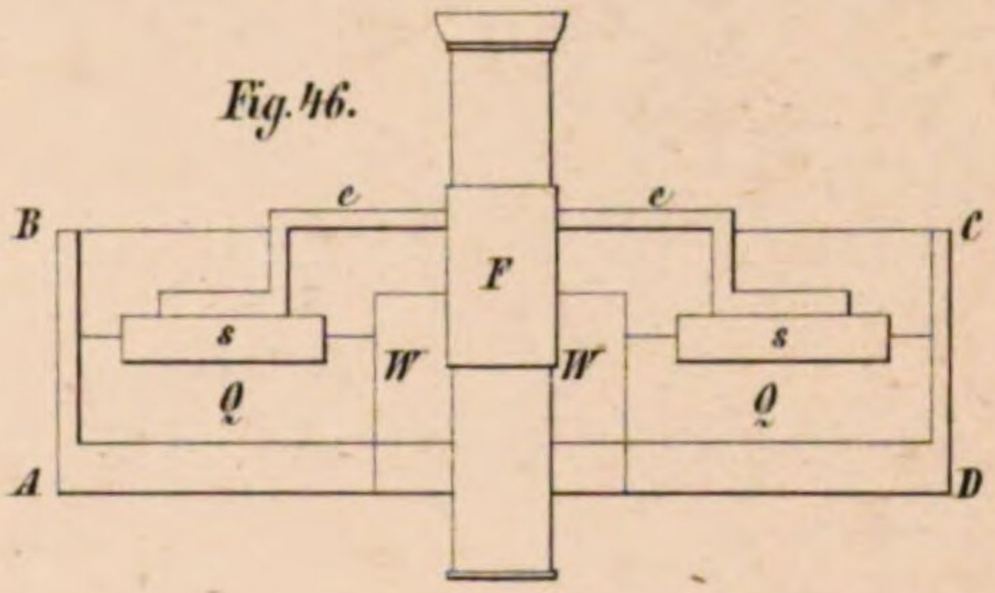
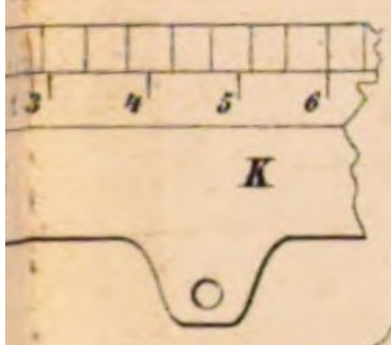


Fig. 46.



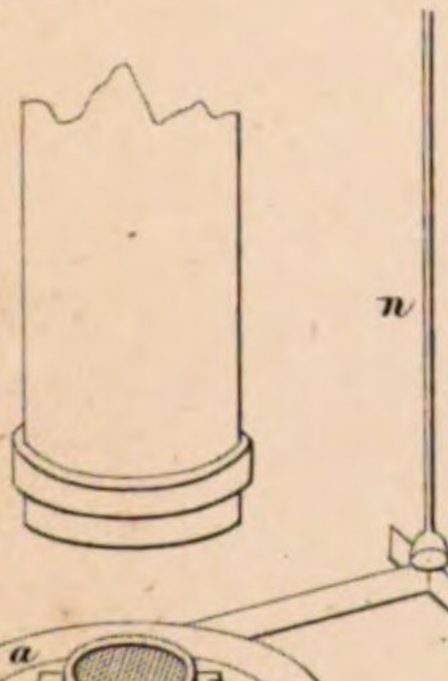


Fig. 47.

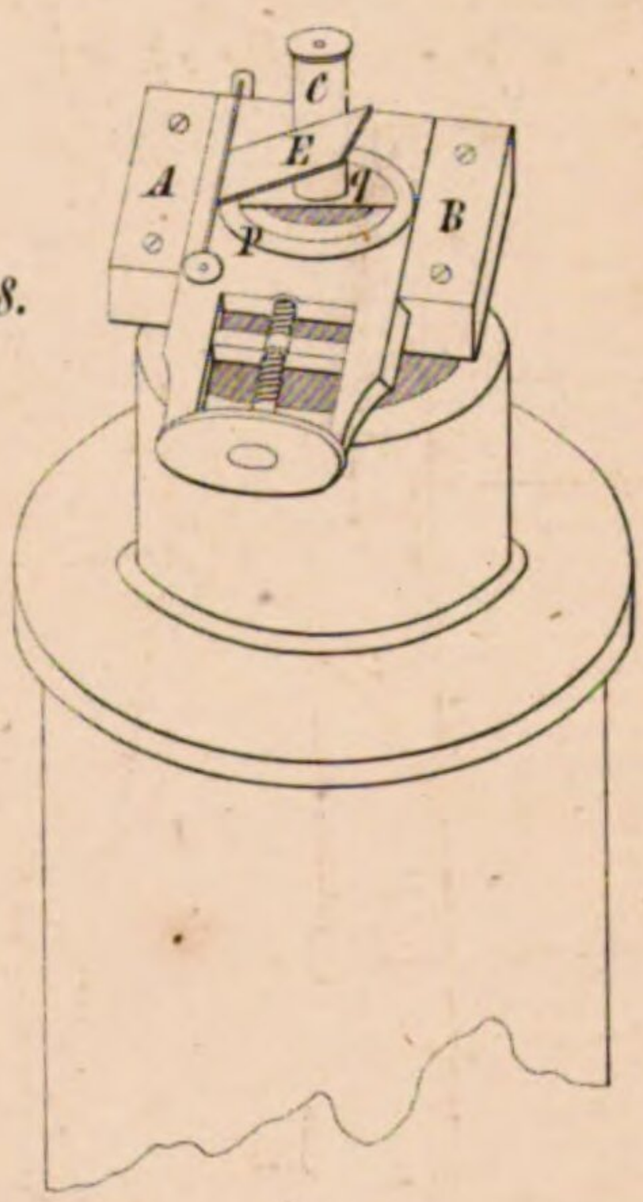


Fig. 48.

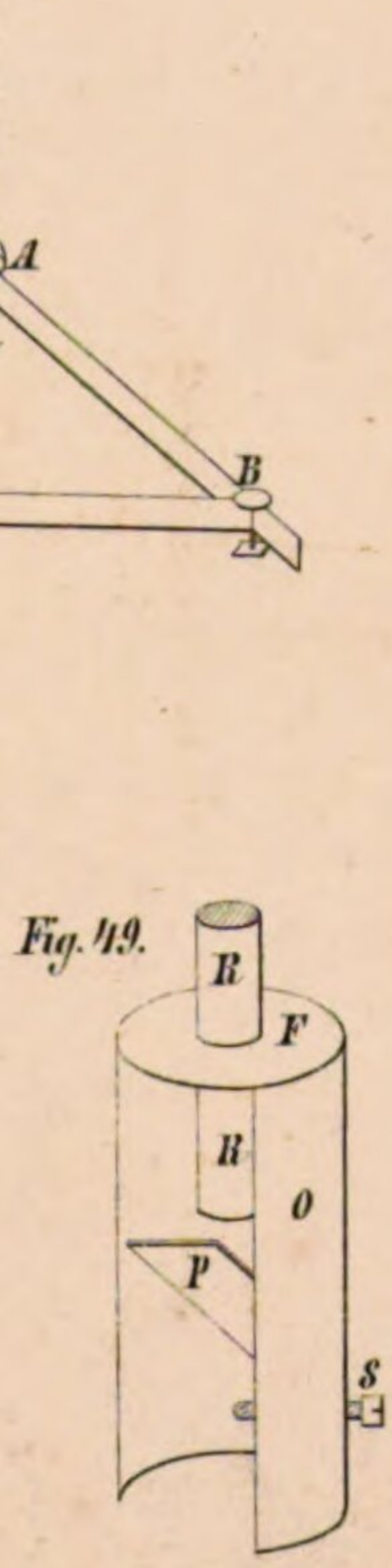


Fig. 49.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

Landes-Industrie Comptoirs in Weimar.

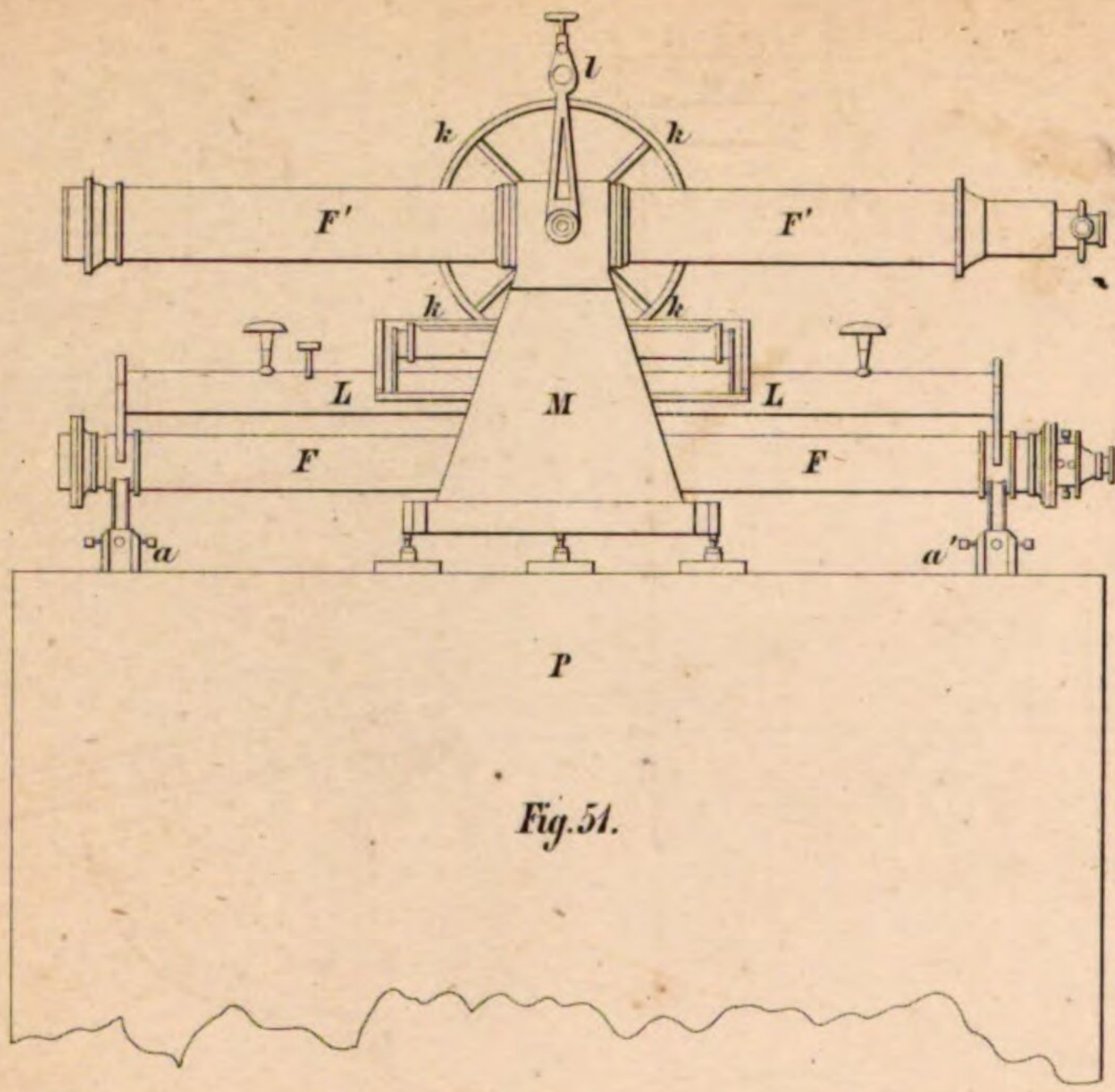


Fig. 51.

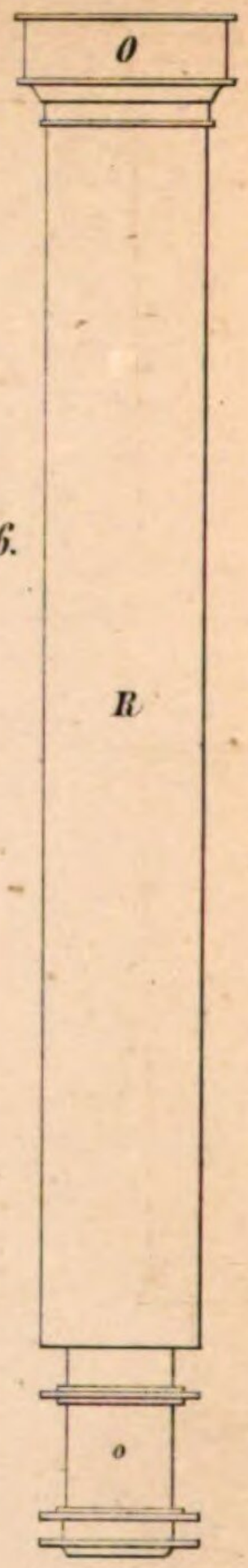


Fig. 56.

Fig. 52.

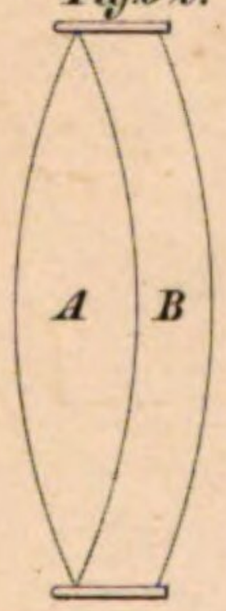


Fig. 53.

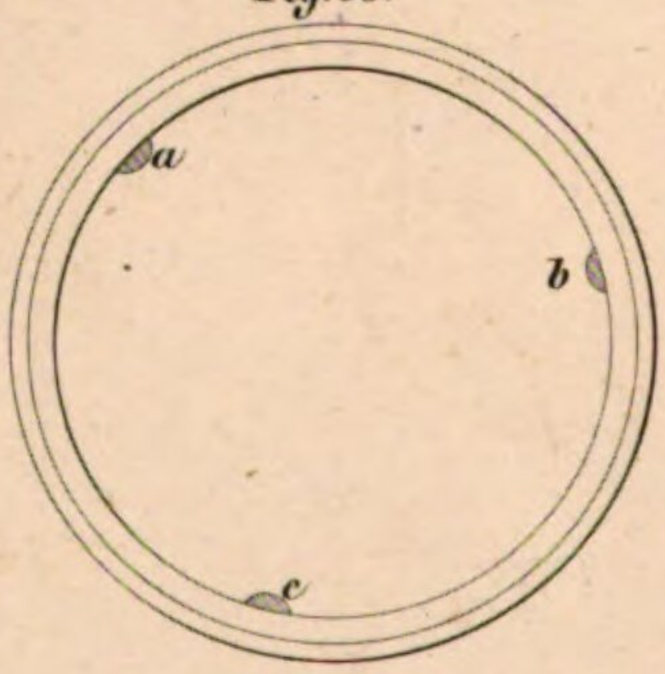


Fig. 54.

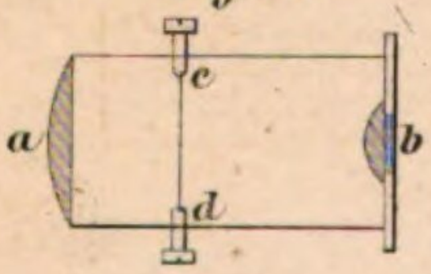


Fig. 55.

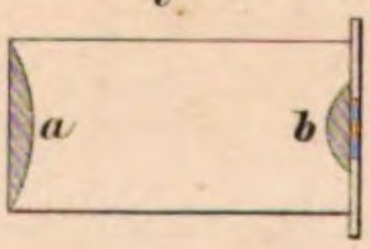


Fig. 59.

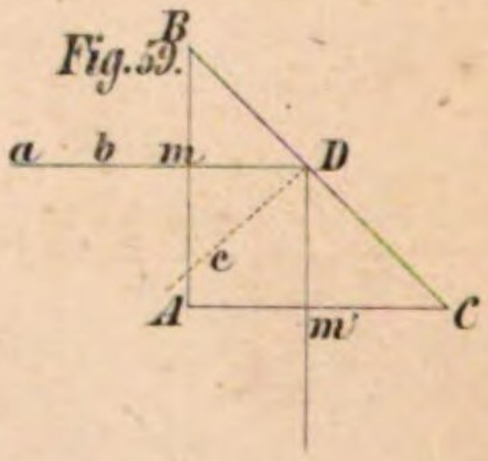


Fig. 66.

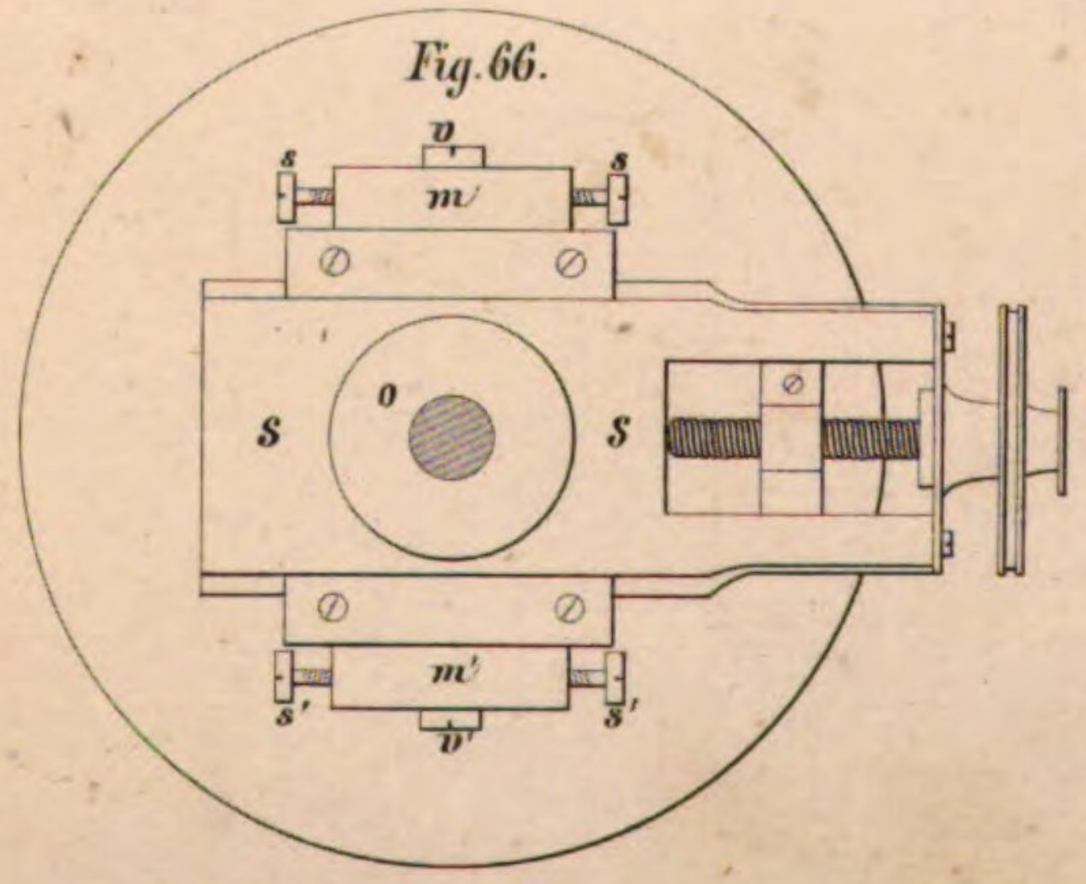


Fig. 67.

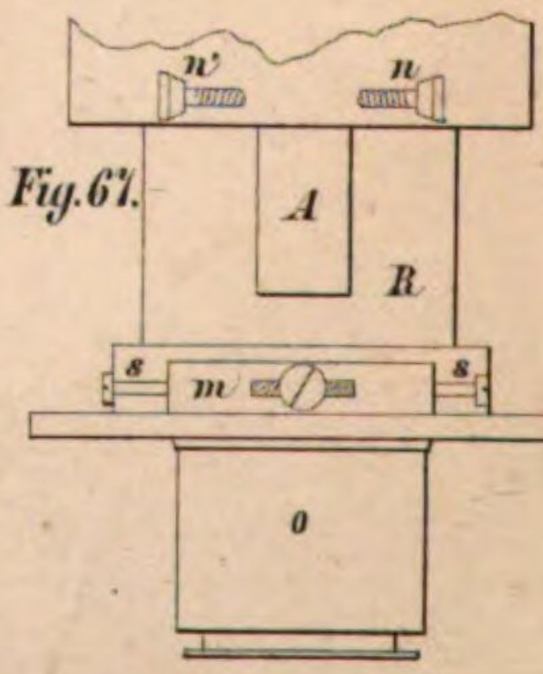


Fig.57.

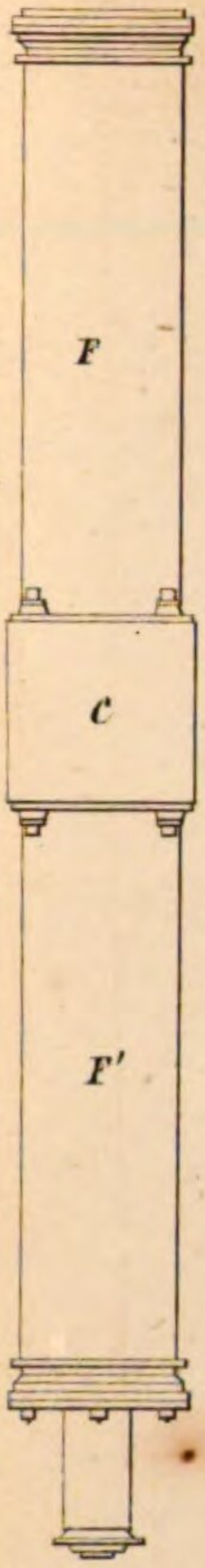


Fig.58.

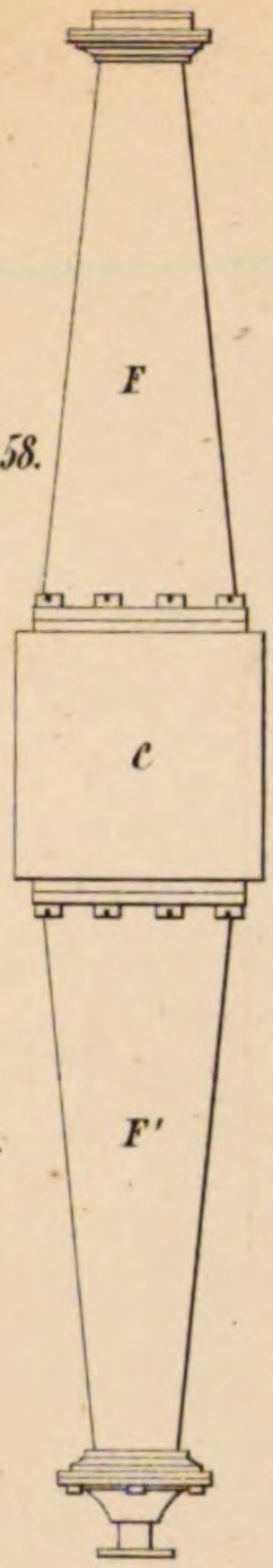


Fig.61.

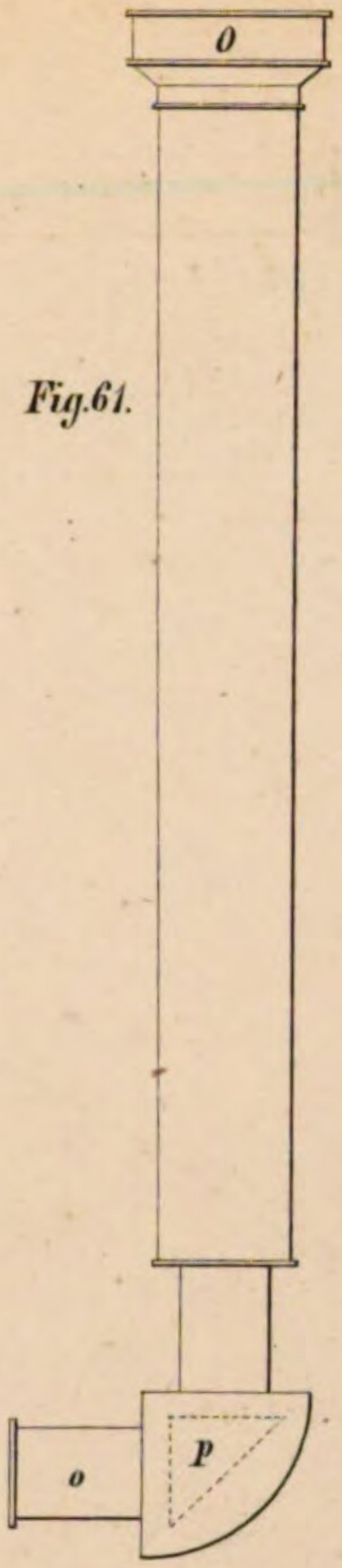


Fig.64.

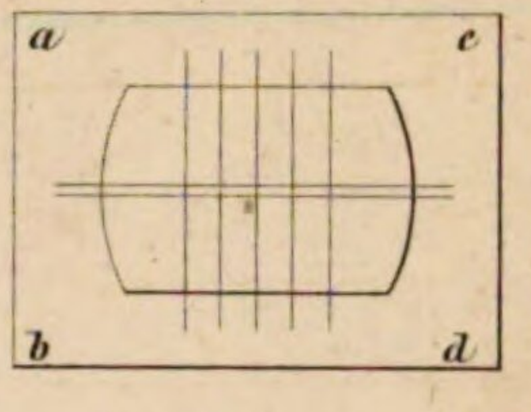


Fig.65.

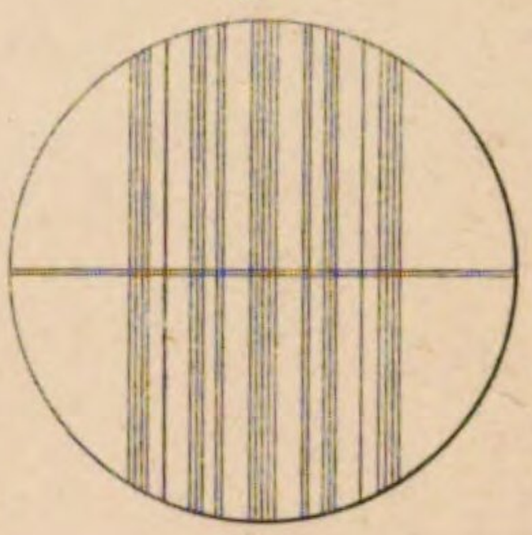


Fig.63.

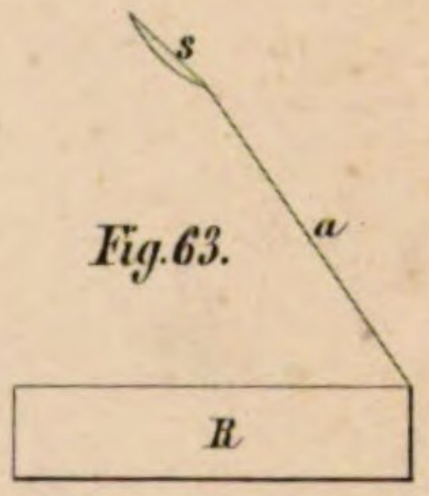


Fig.60.

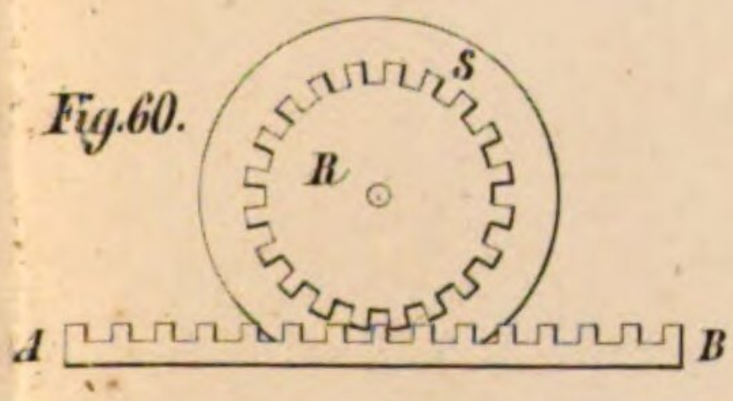


Fig.62.

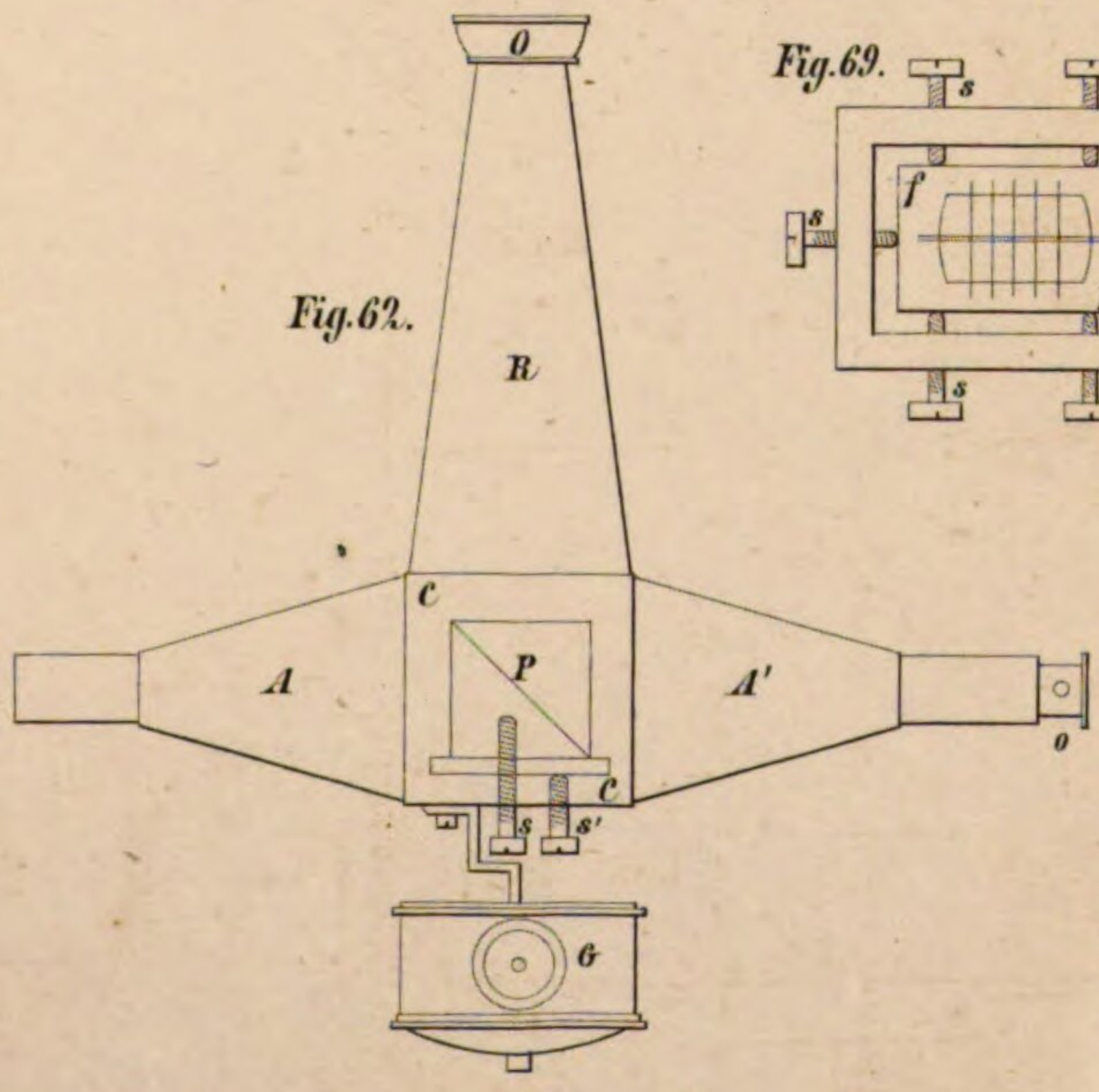


Fig.69.

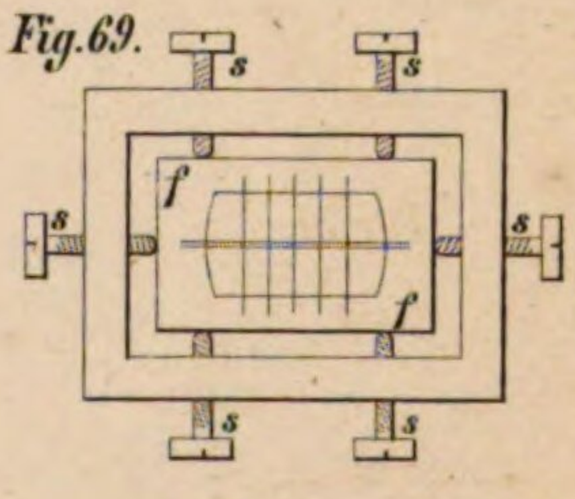
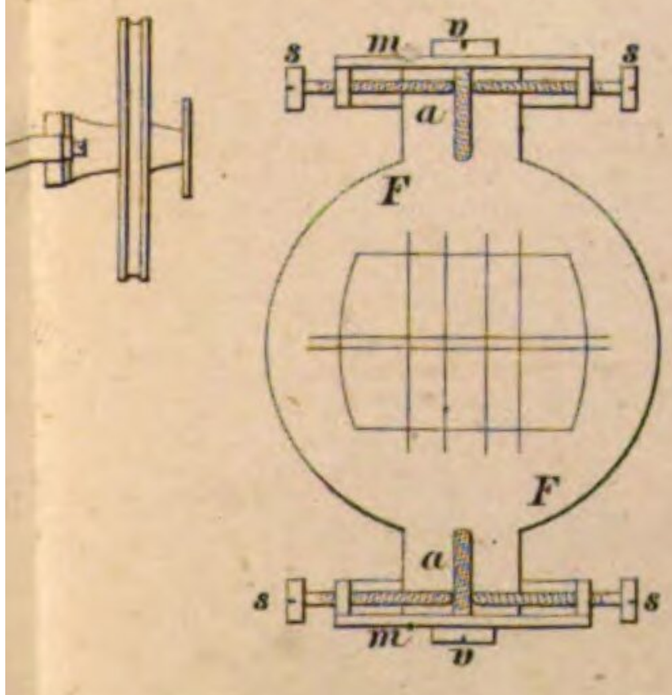


Fig.68.



Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

Fig: 70.

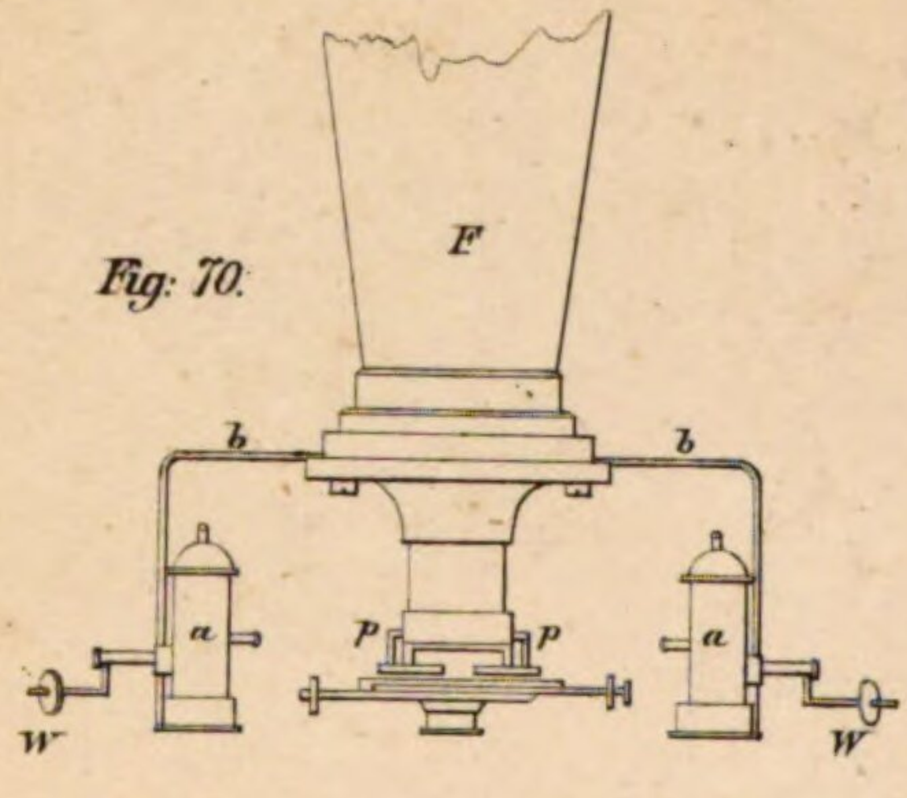


Fig: 71.

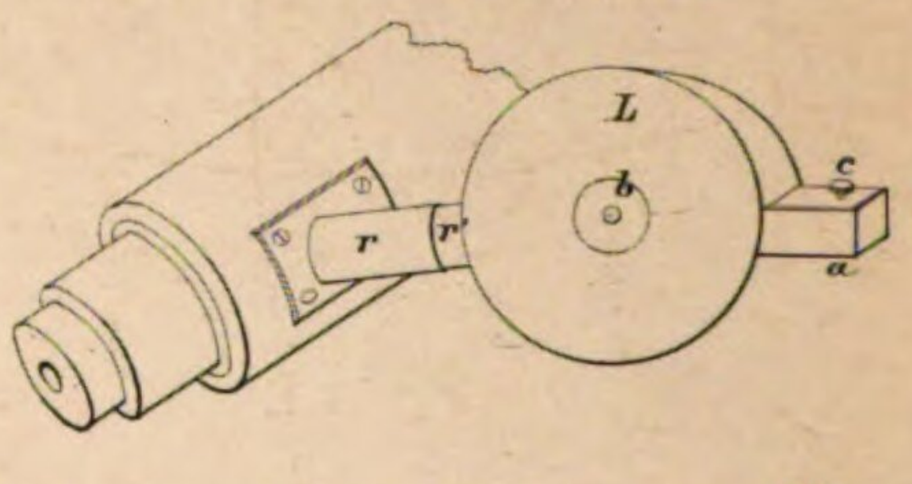


Fig: 75.

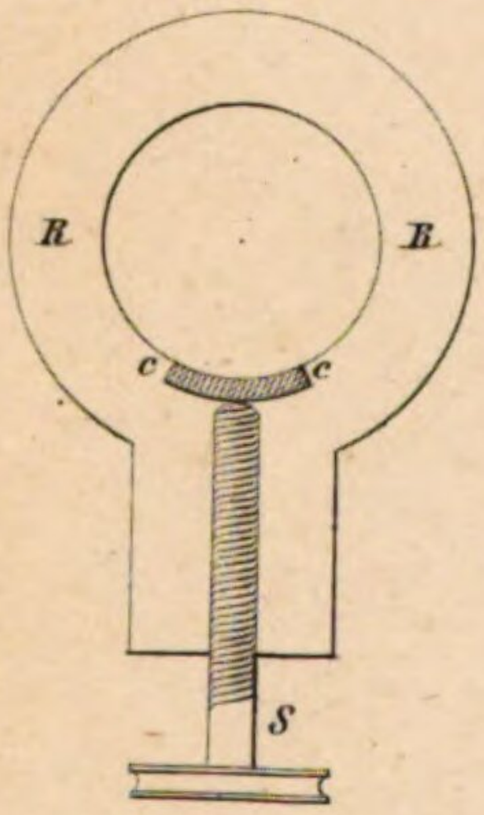


Fig: 76.

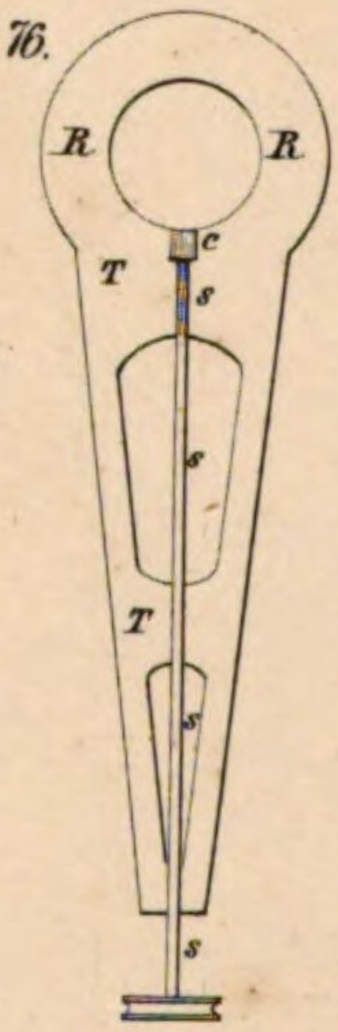


Fig: 80.

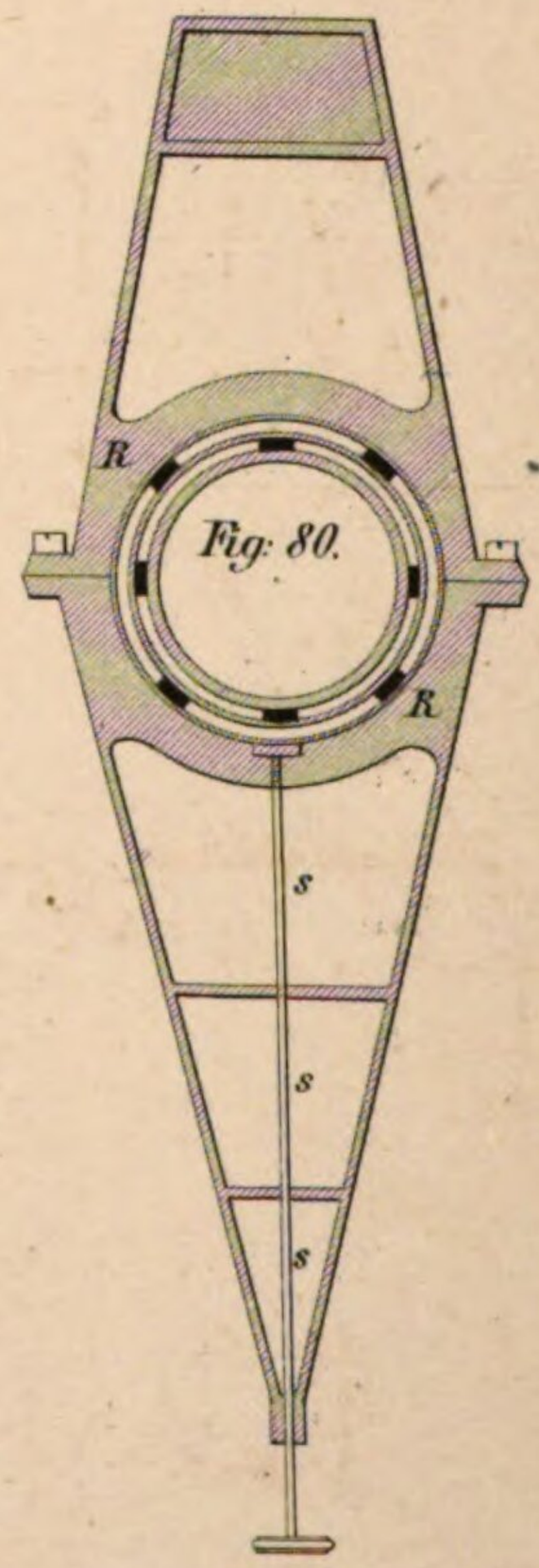


Fig: 79.

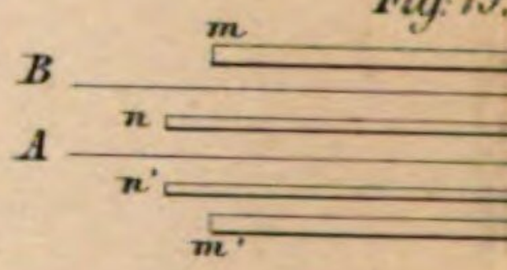


Fig: 81.

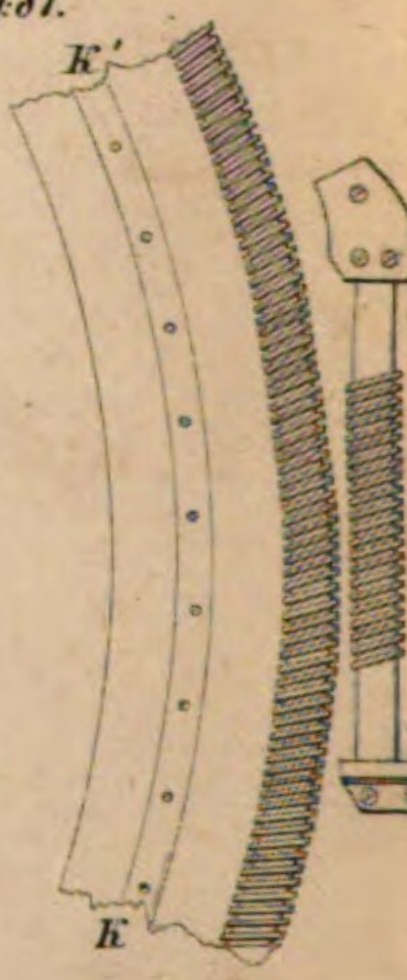


Fig: 84.

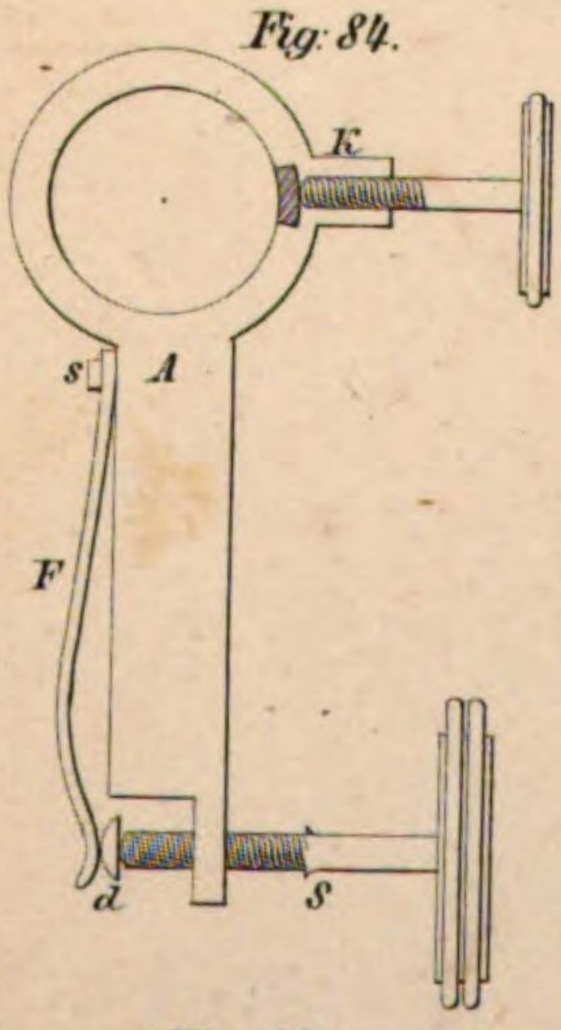


Fig: 86.

Fig: 85.

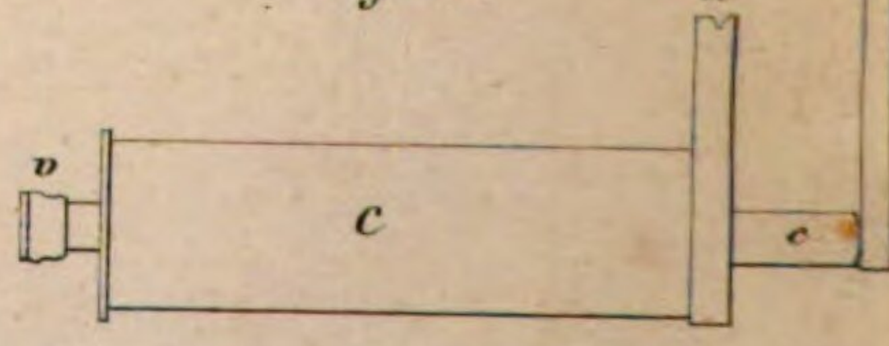


Fig: 89.

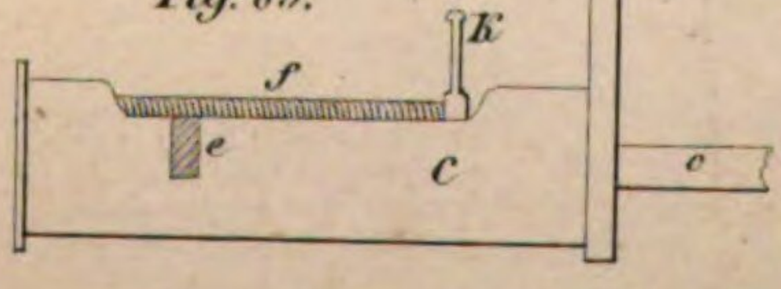


Fig: 88.

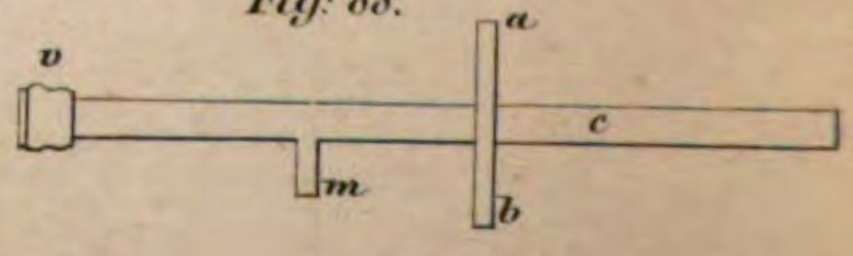


Fig: 72.

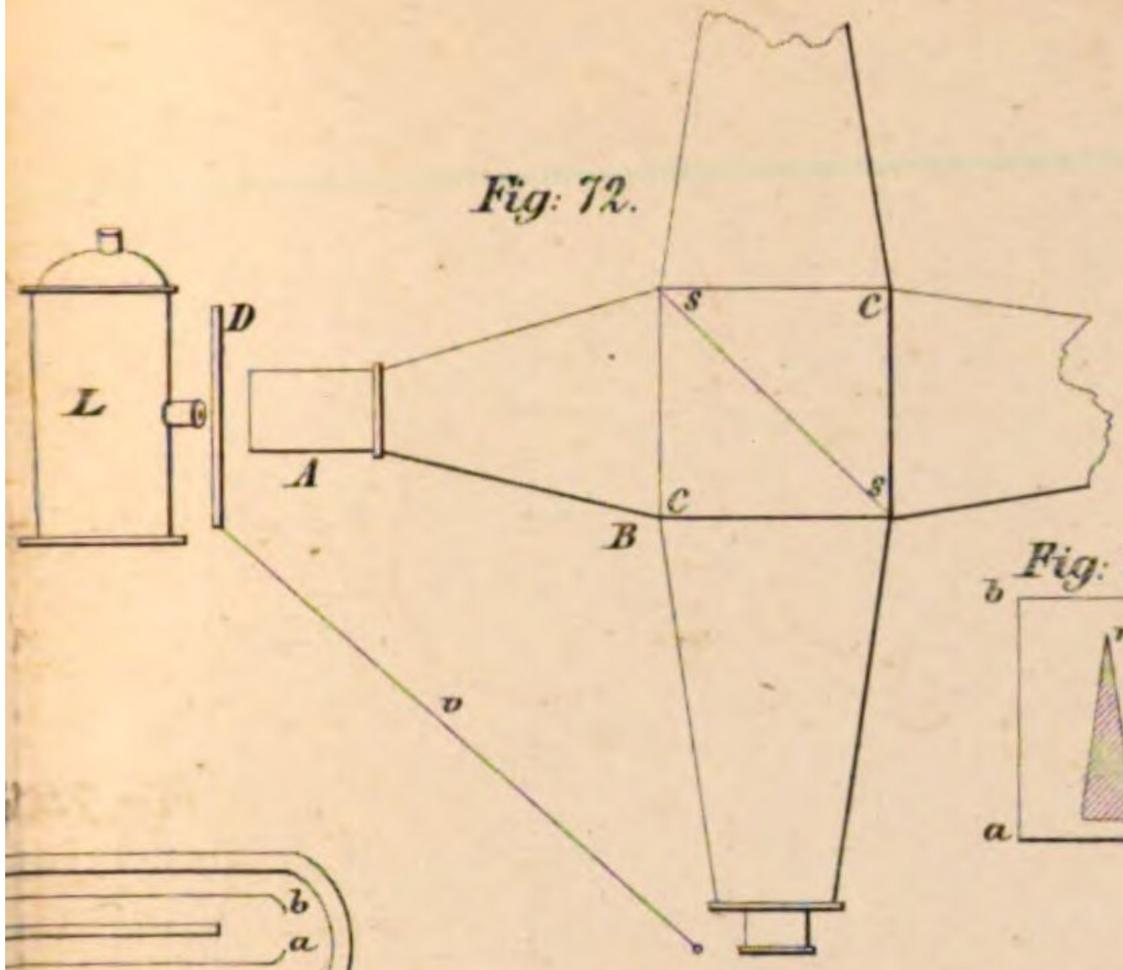


Fig: 73 a.

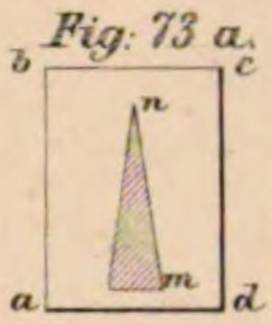


Fig: 73.

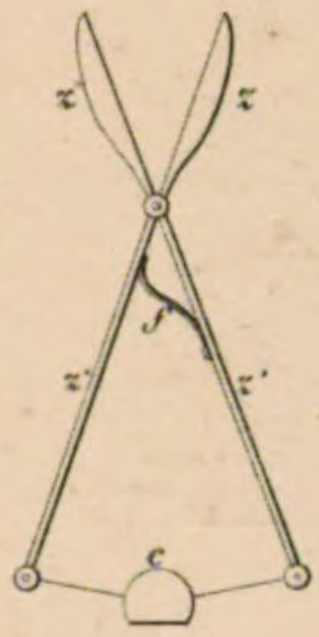


Fig: 74.

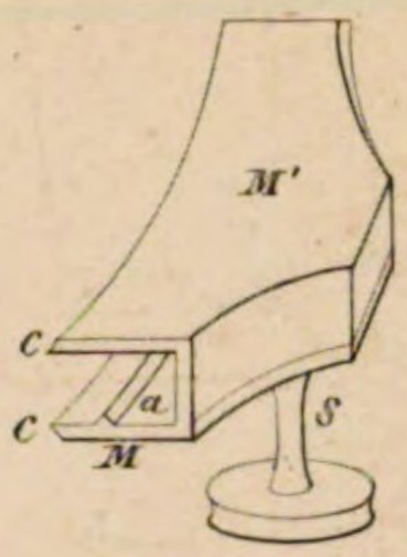


Fig: 77.

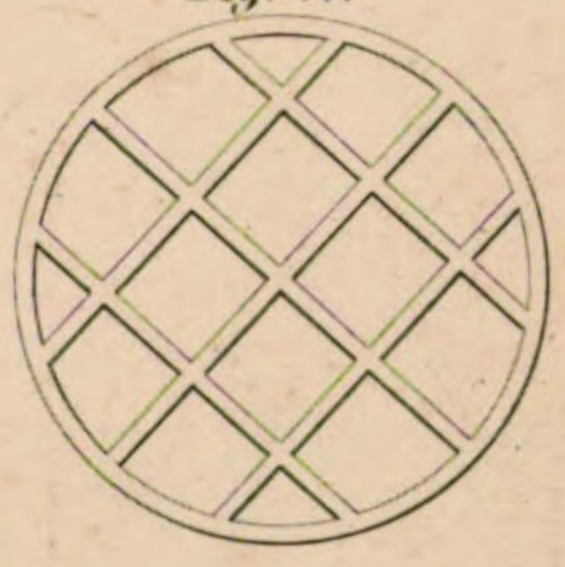


Fig: 78.

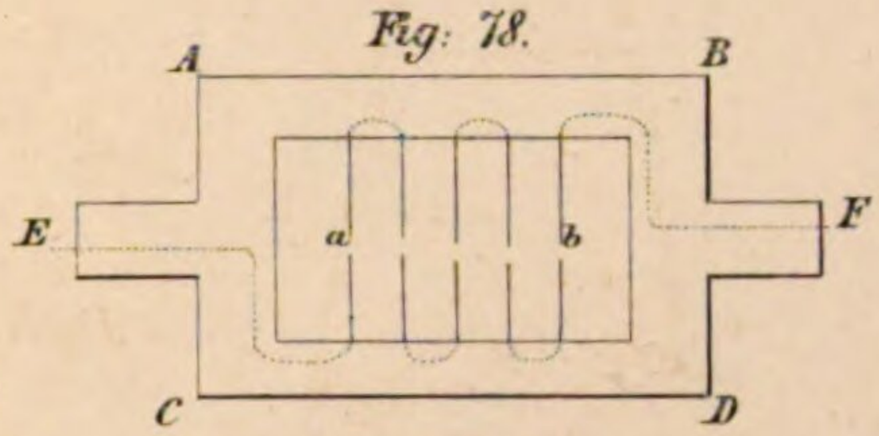


Fig: 82 a.

Fig: 82.

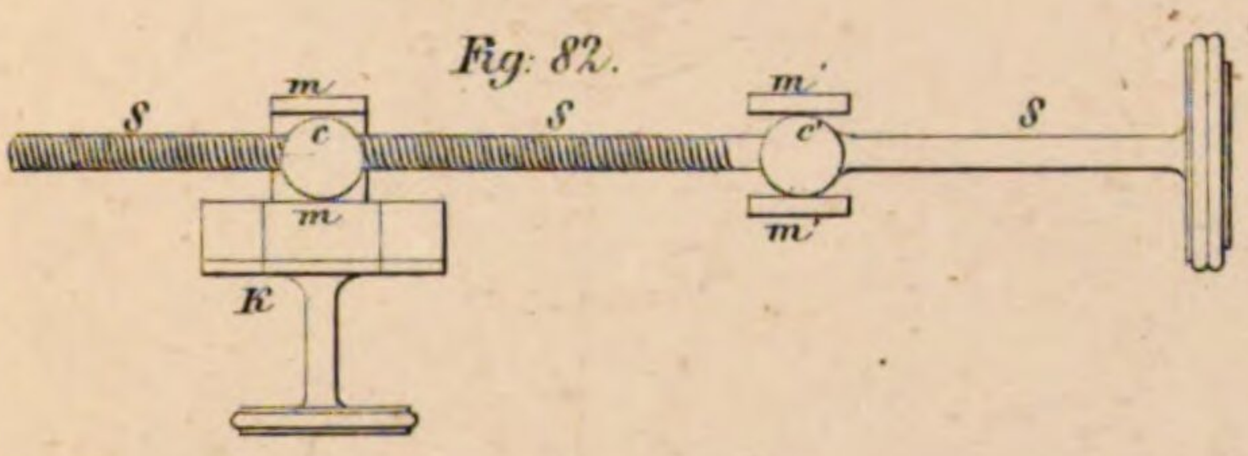
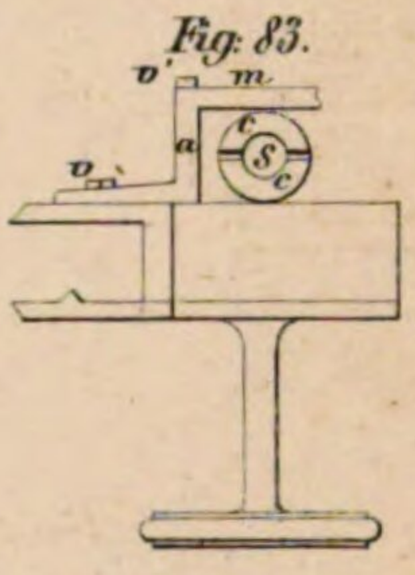


Fig: 83.



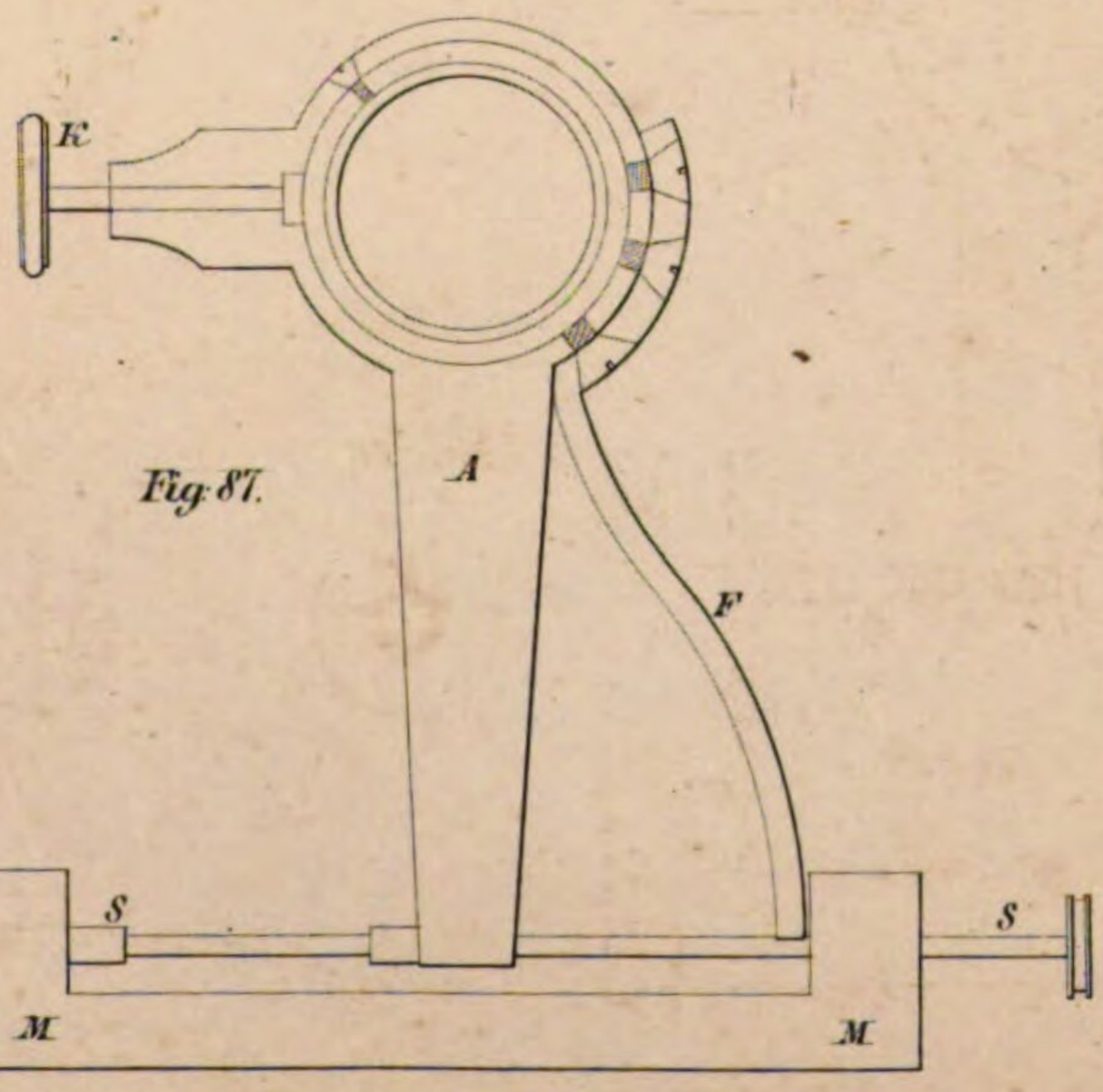


Fig: 87.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

Fig. 91.

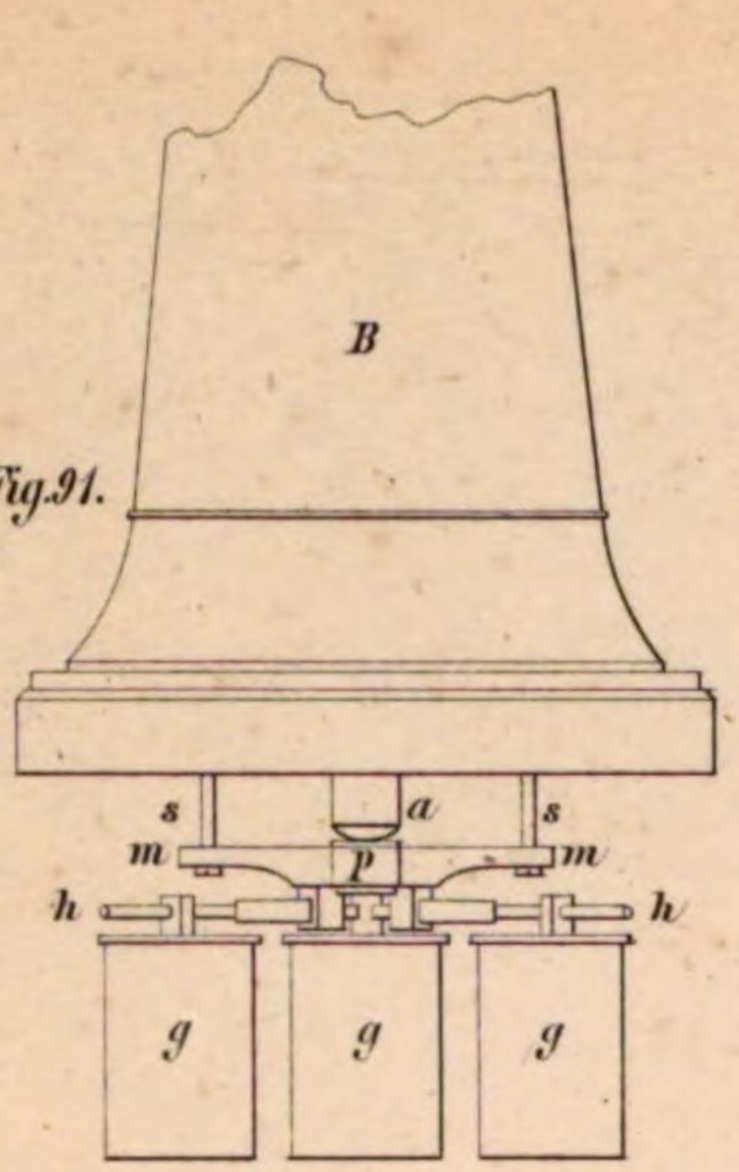


Fig. 92.

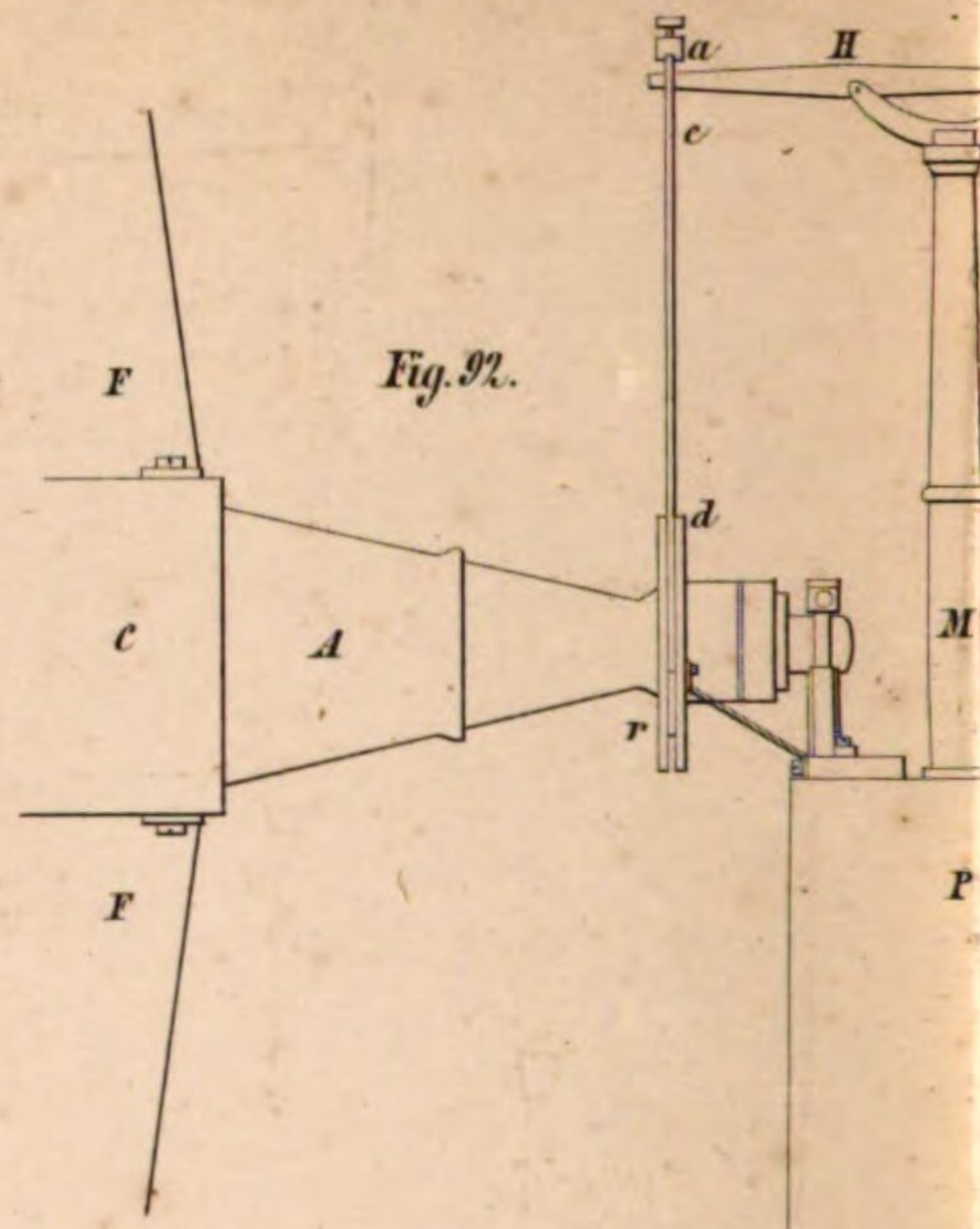


Fig. 90.

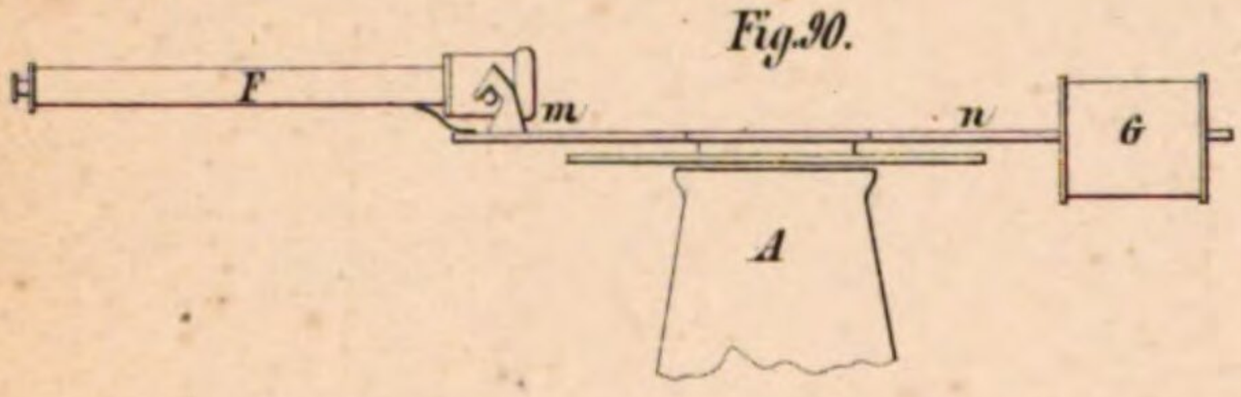


Fig. 102.

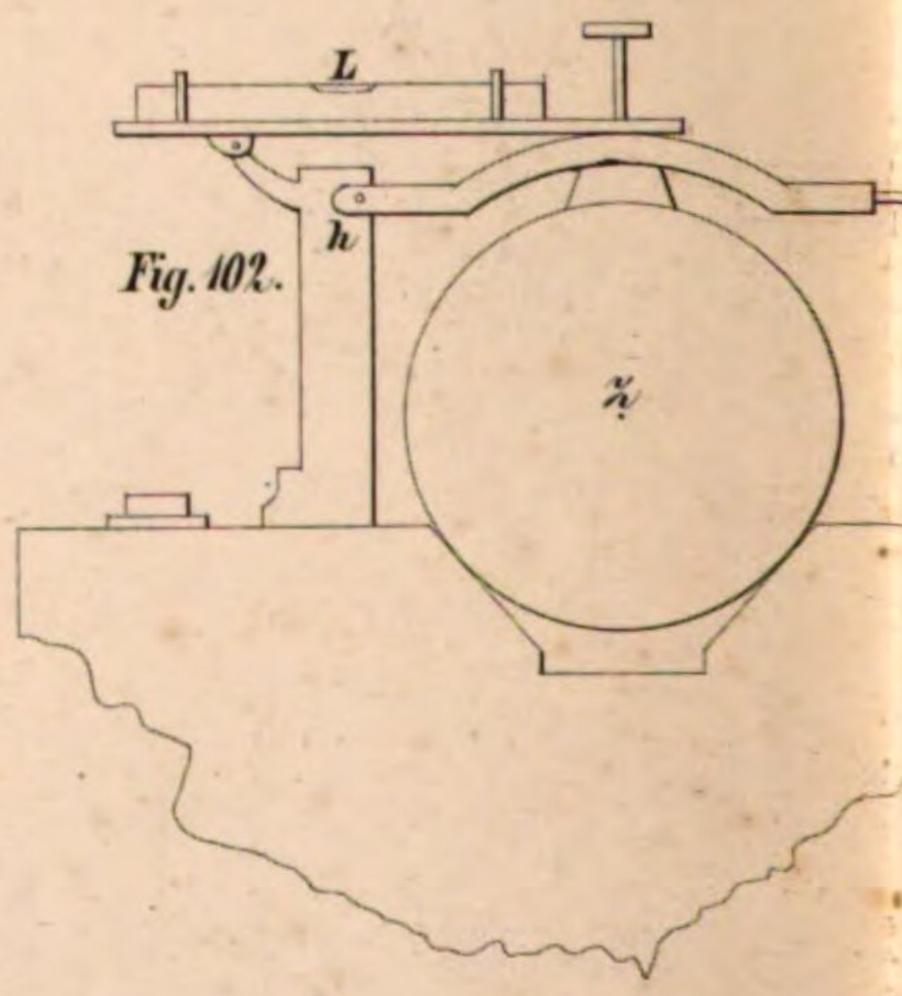


Fig. 93.

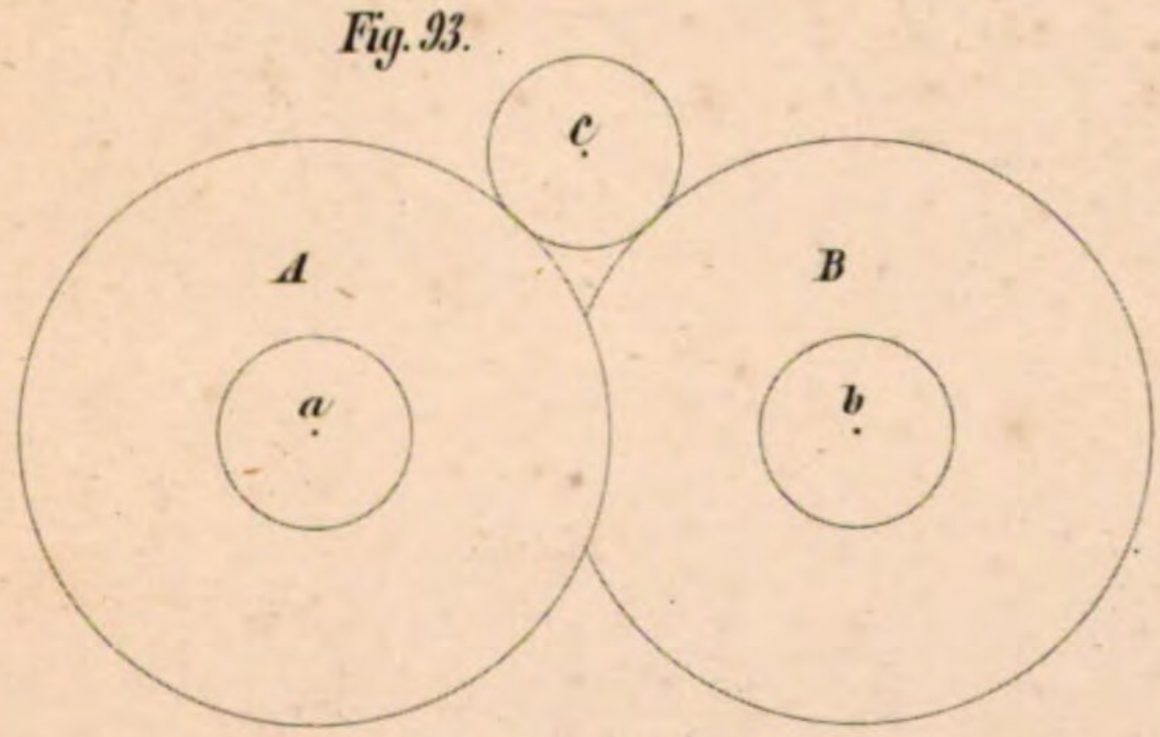


Fig. 94.

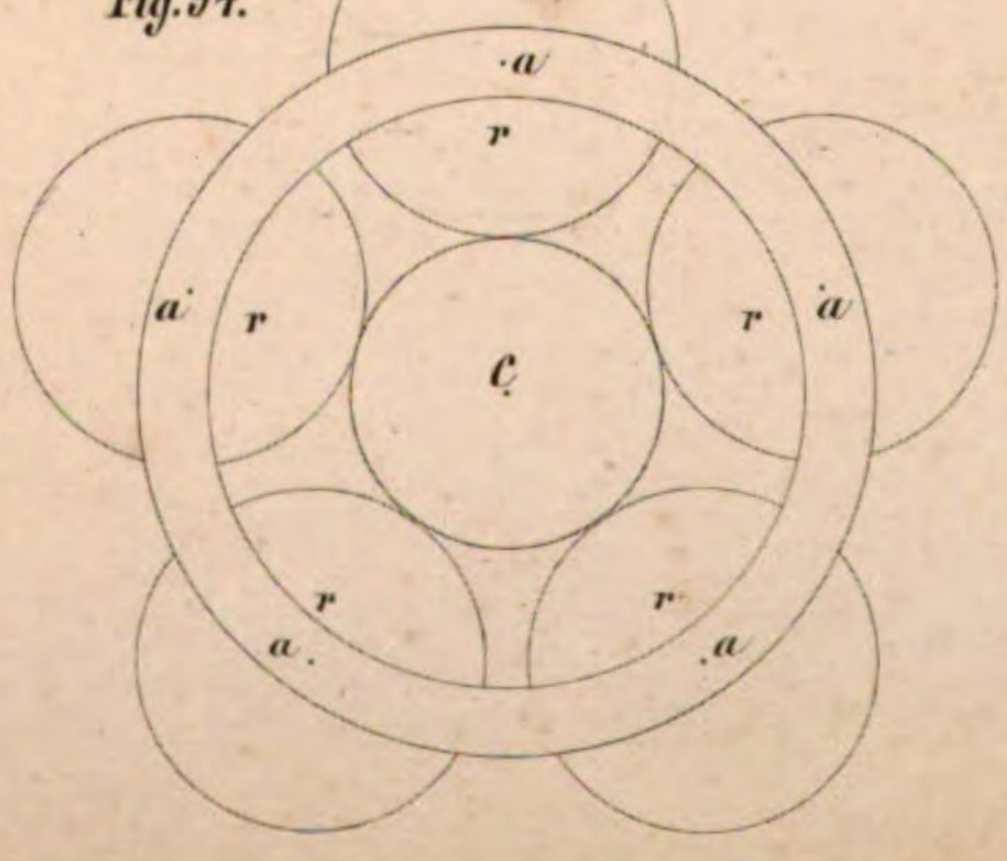
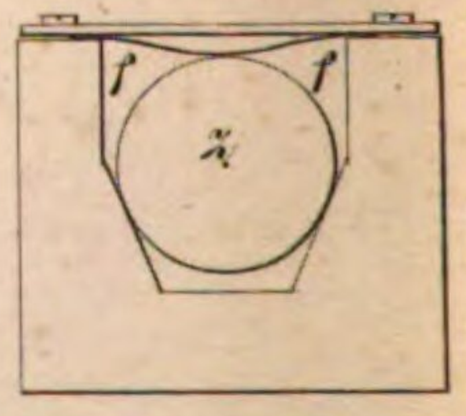


Fig. 100.



Artist. Anstalt d. Landes In

Fig. 95.

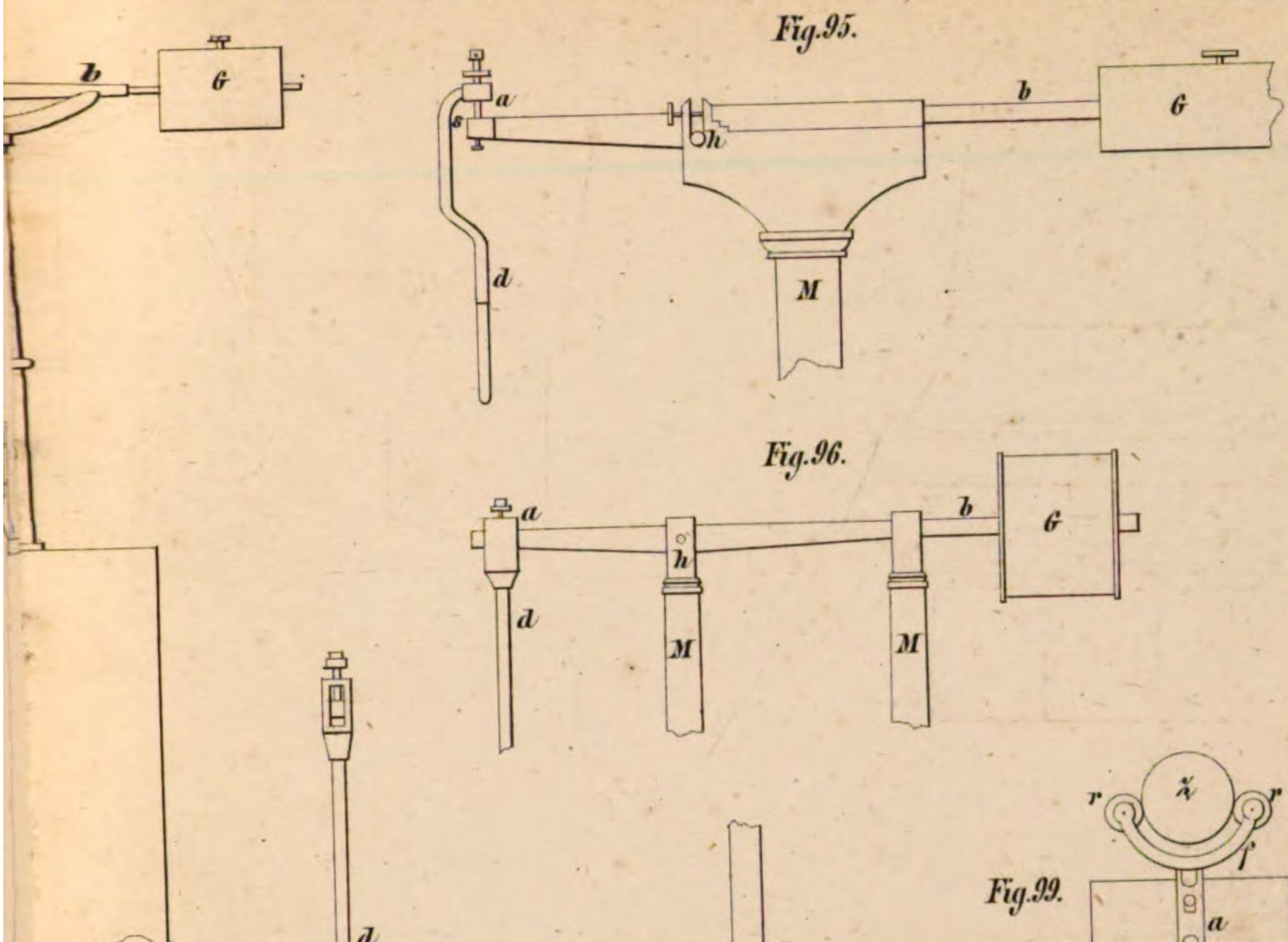


Fig. 96.

Fig. 97.

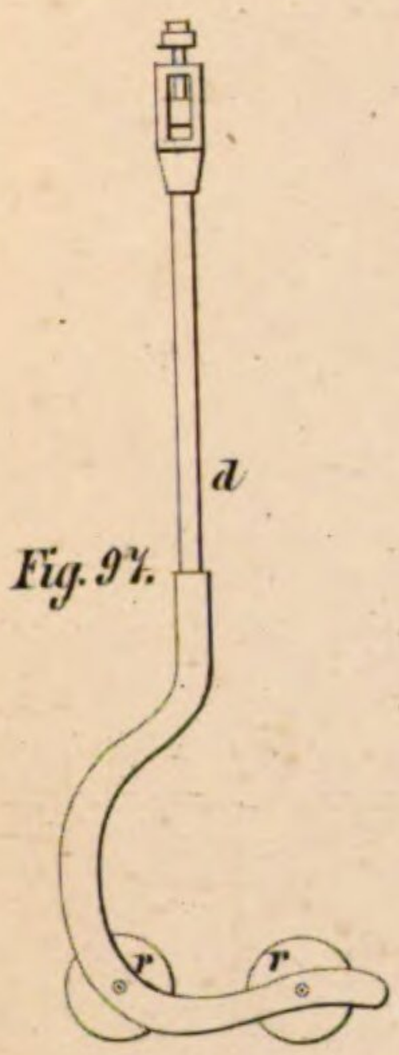


Fig. 98.

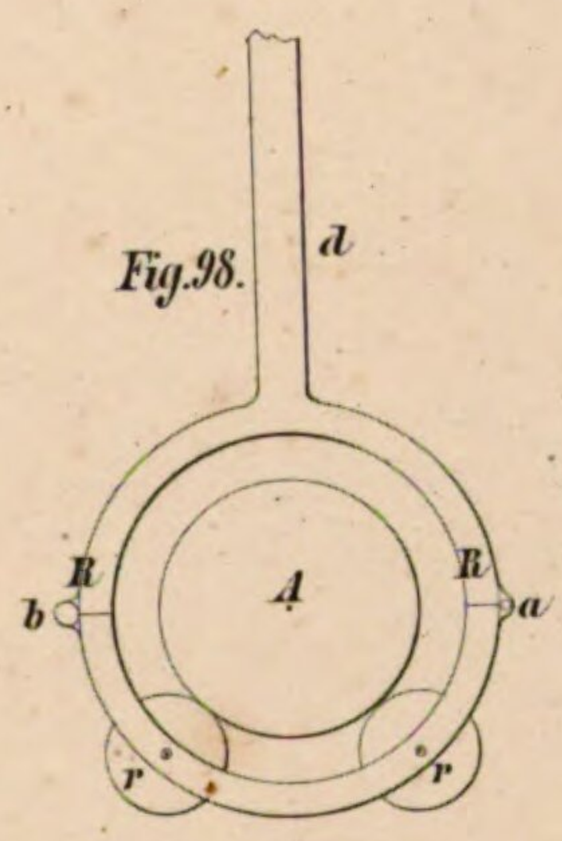


Fig. 99.

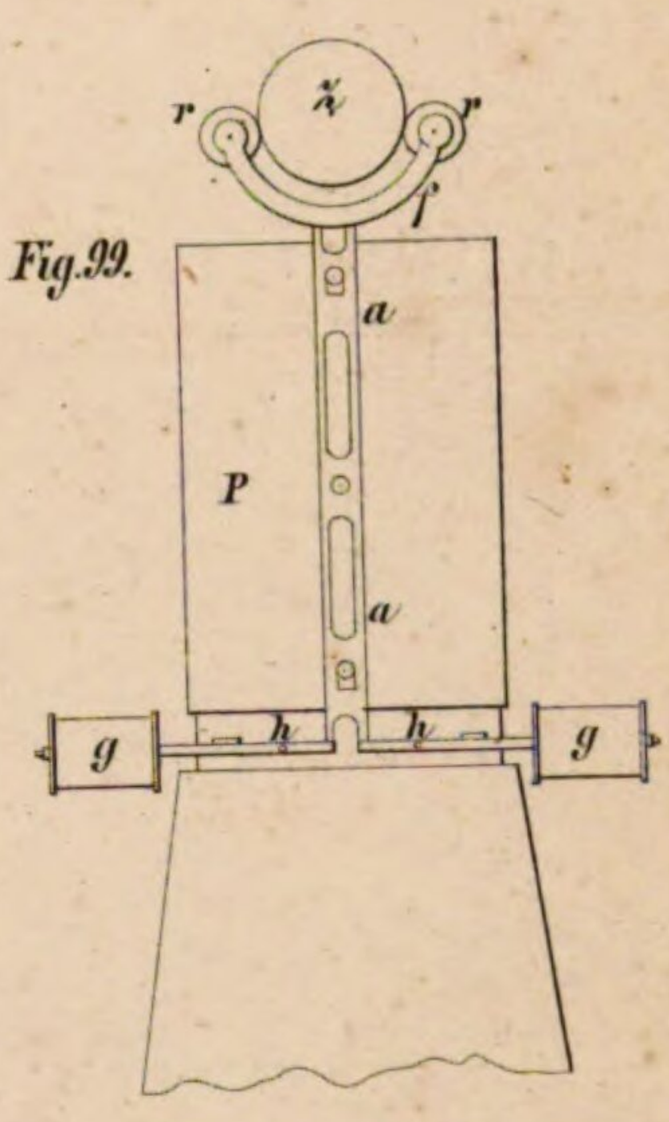


Fig. 104. a.

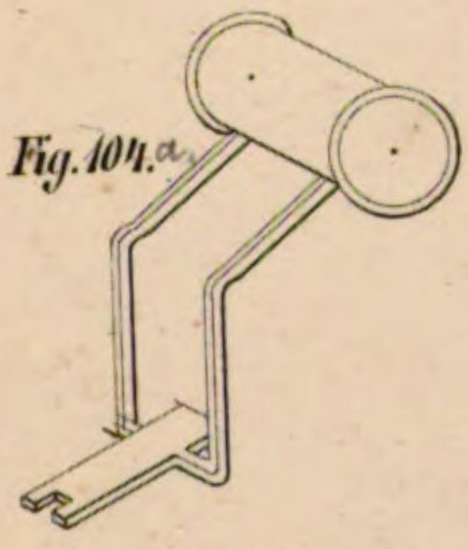


Fig. 101.

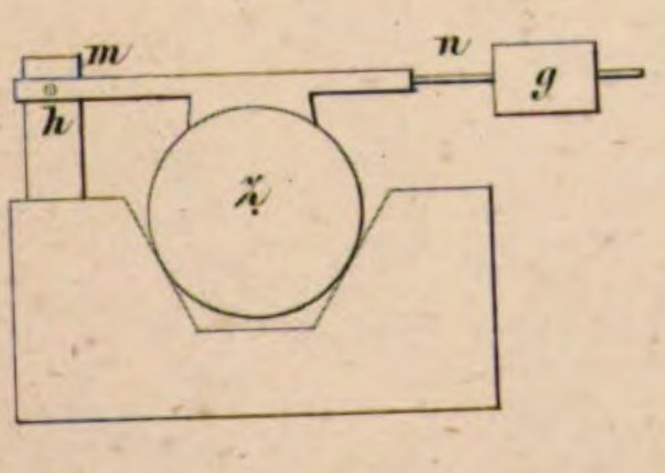
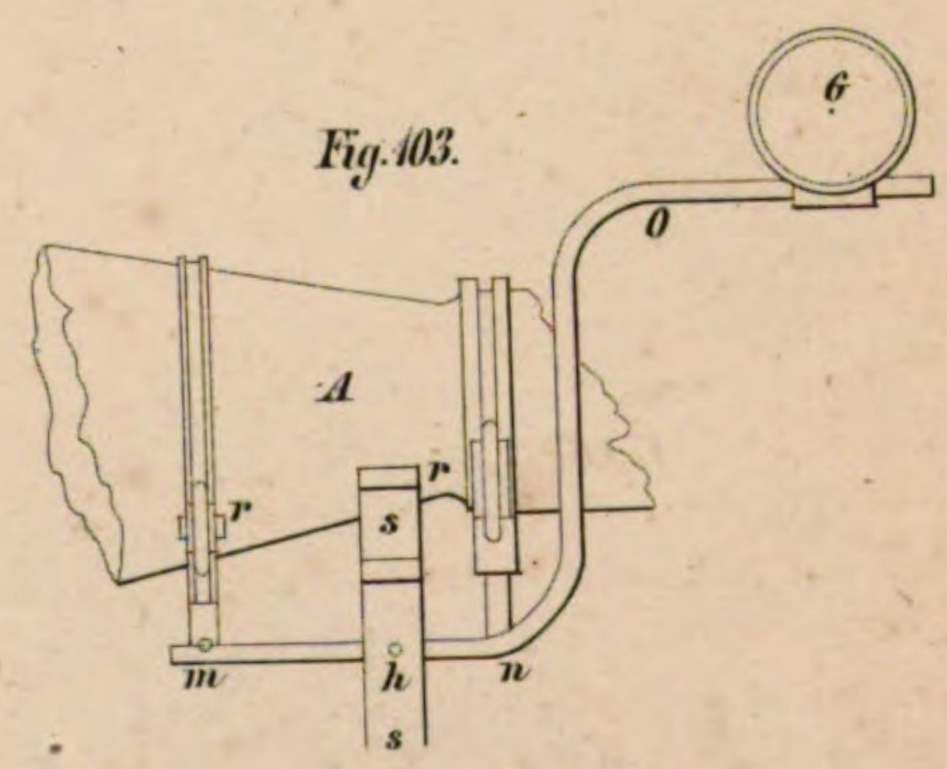


Fig. 103.



Industrie Comptoirs in Weimar.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig

Fig. 104.

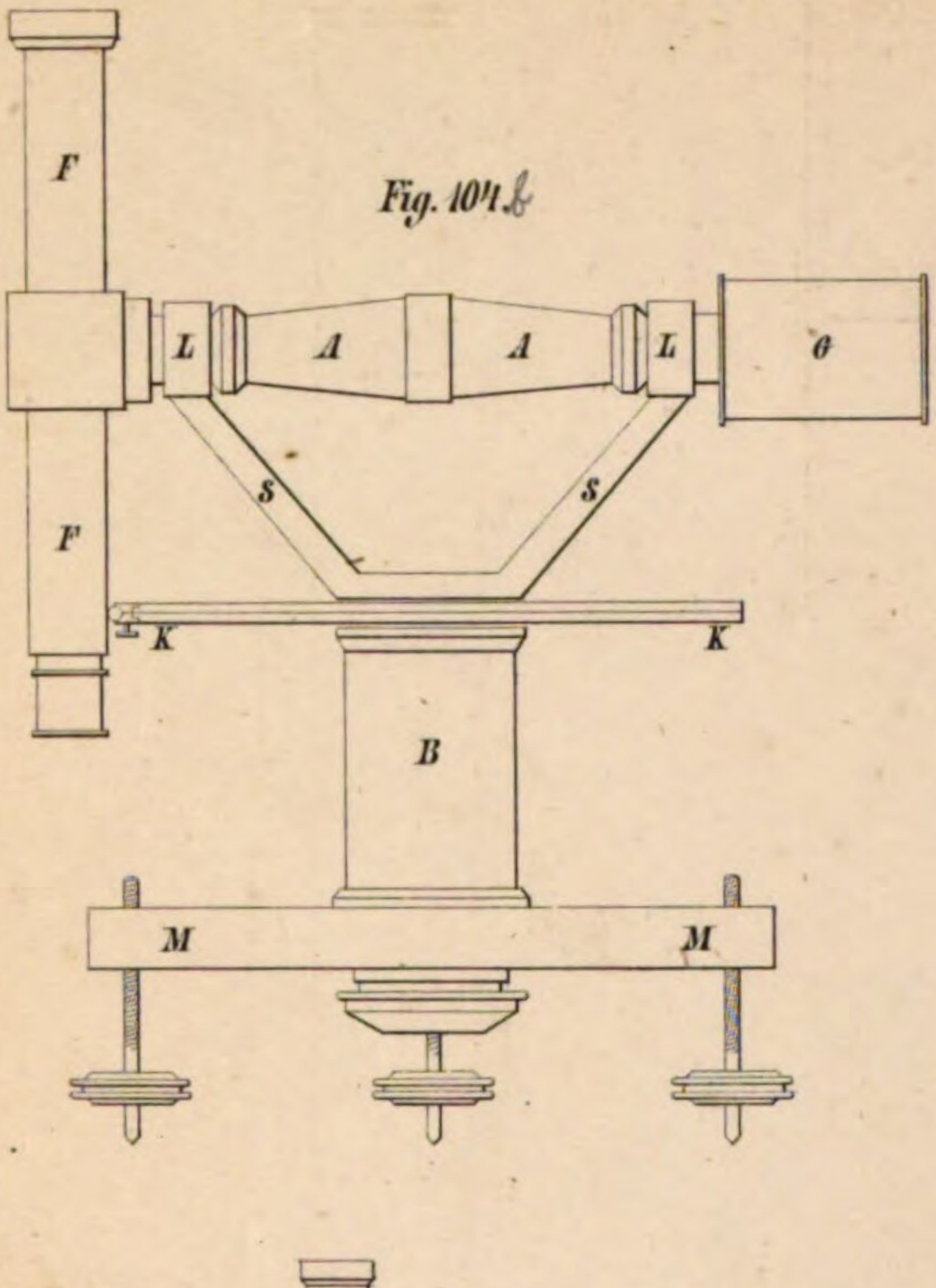


Fig. 105.

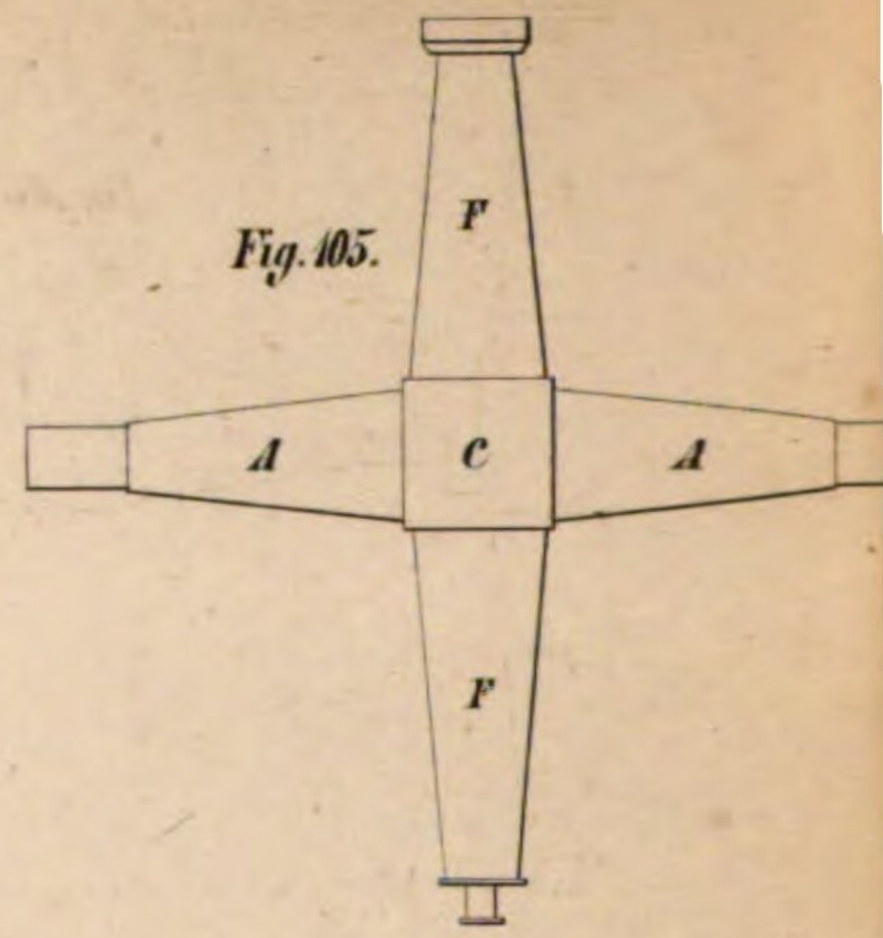


Fig. 106.

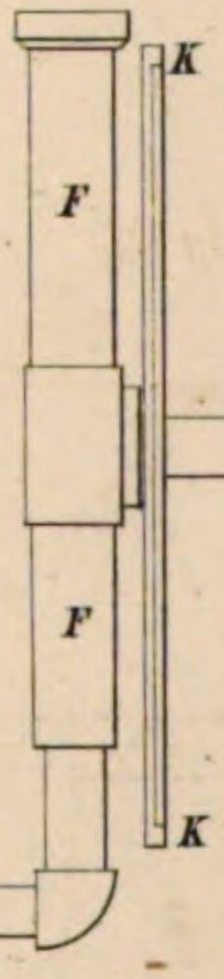


Fig. 107.

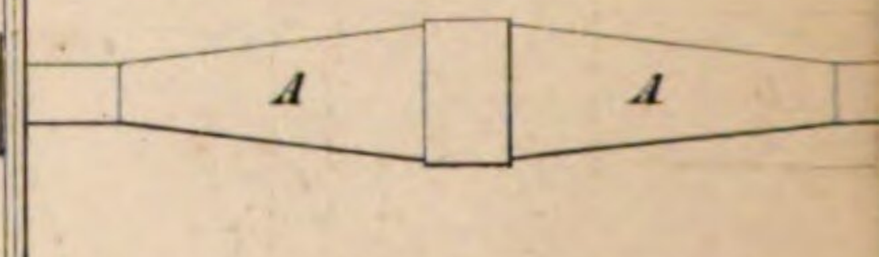


Fig. 109.

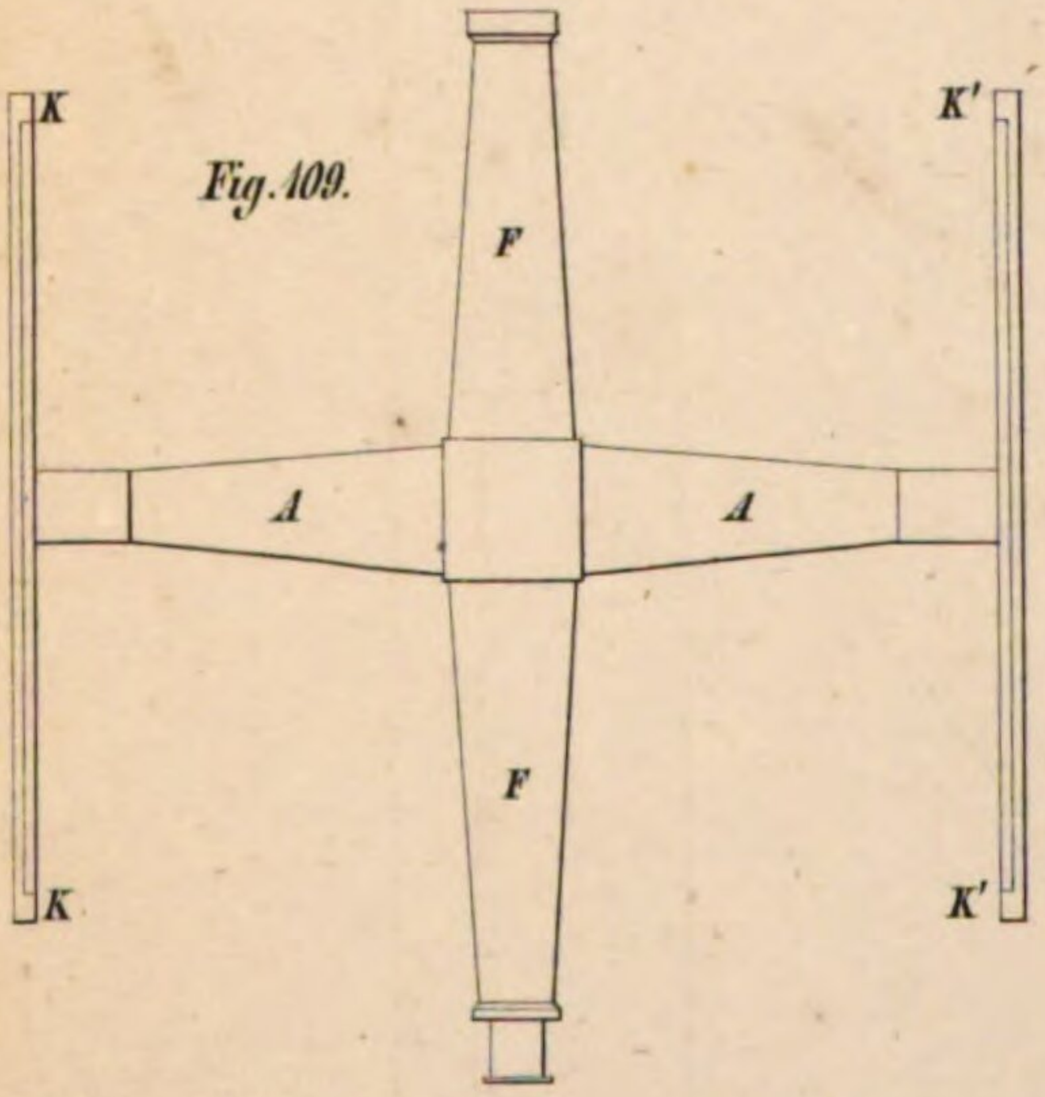


Fig. 110.

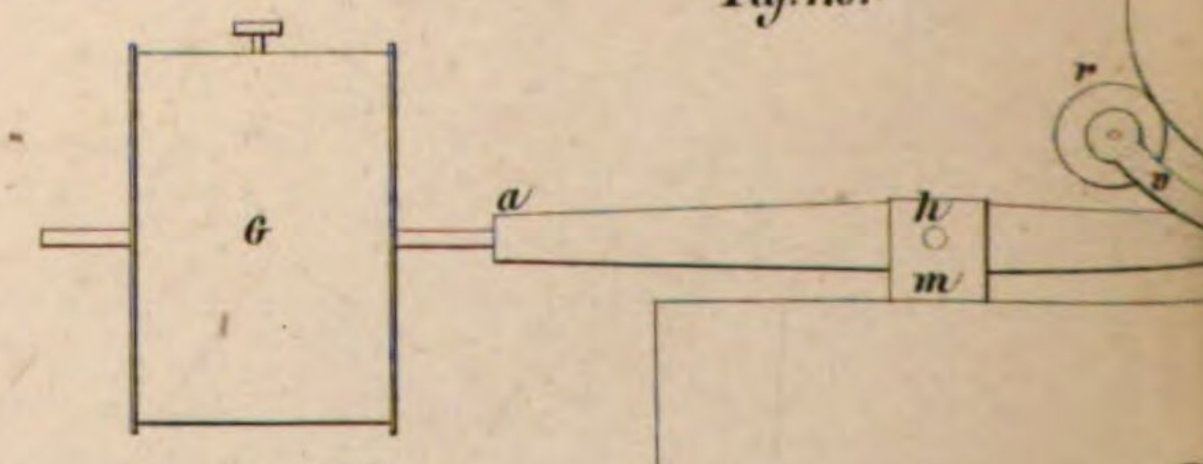
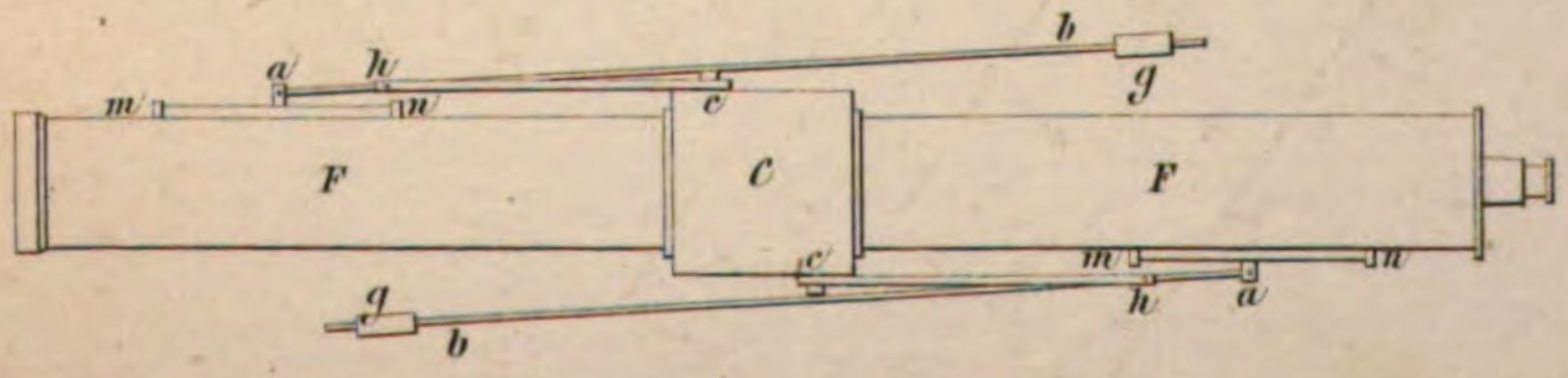


Fig. 111.



Artist. Anstalt d. Landes Industrie Co

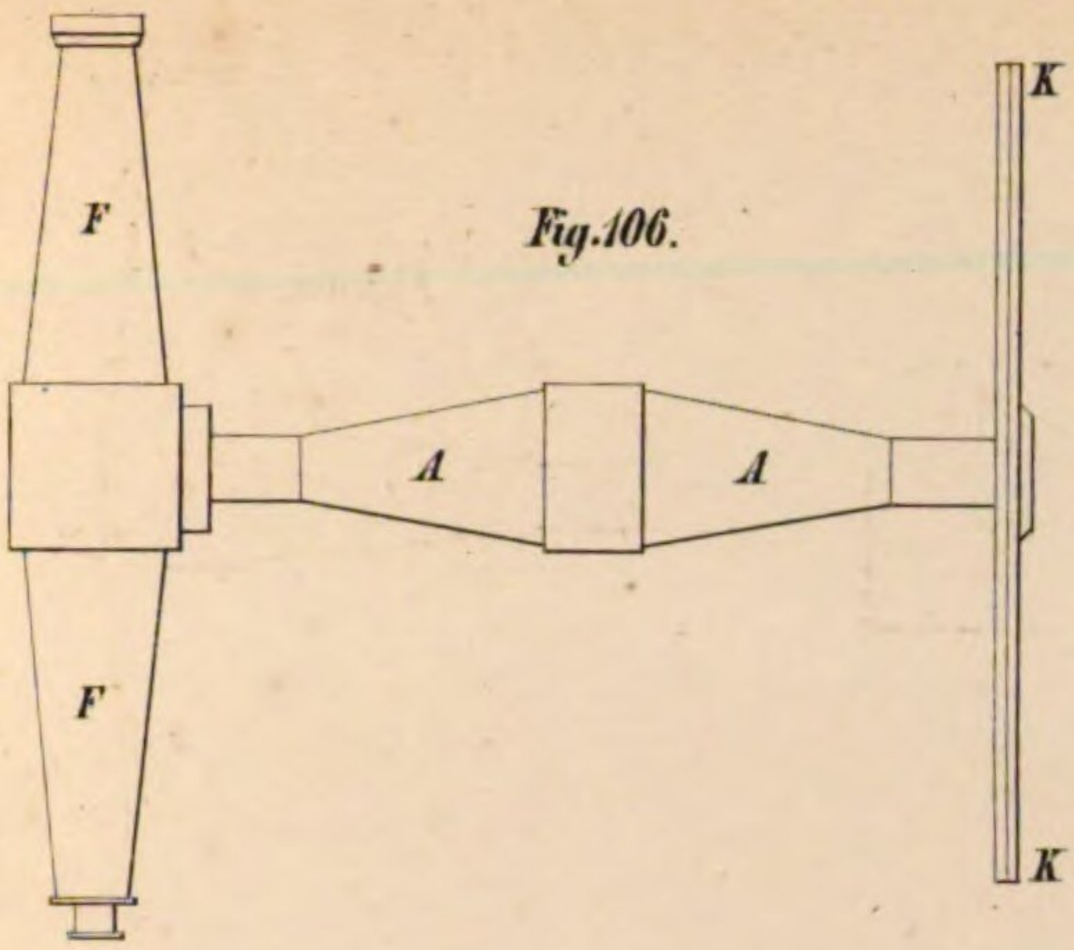


Fig. 106.

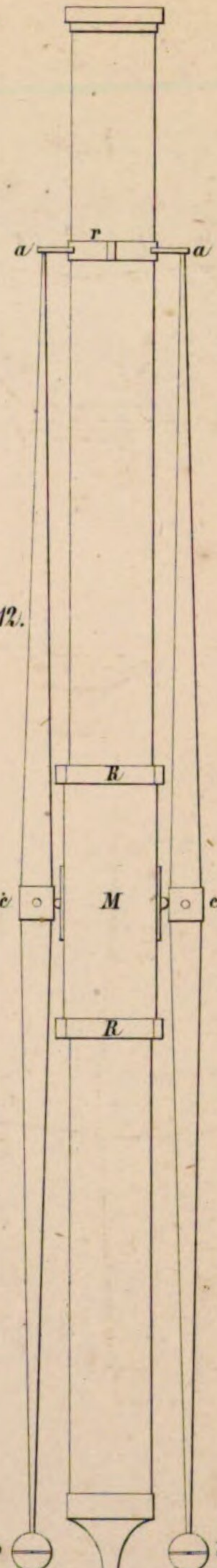
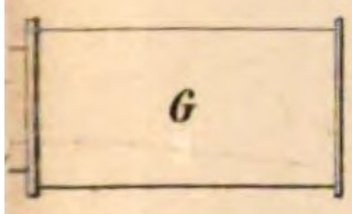


Fig. 112.



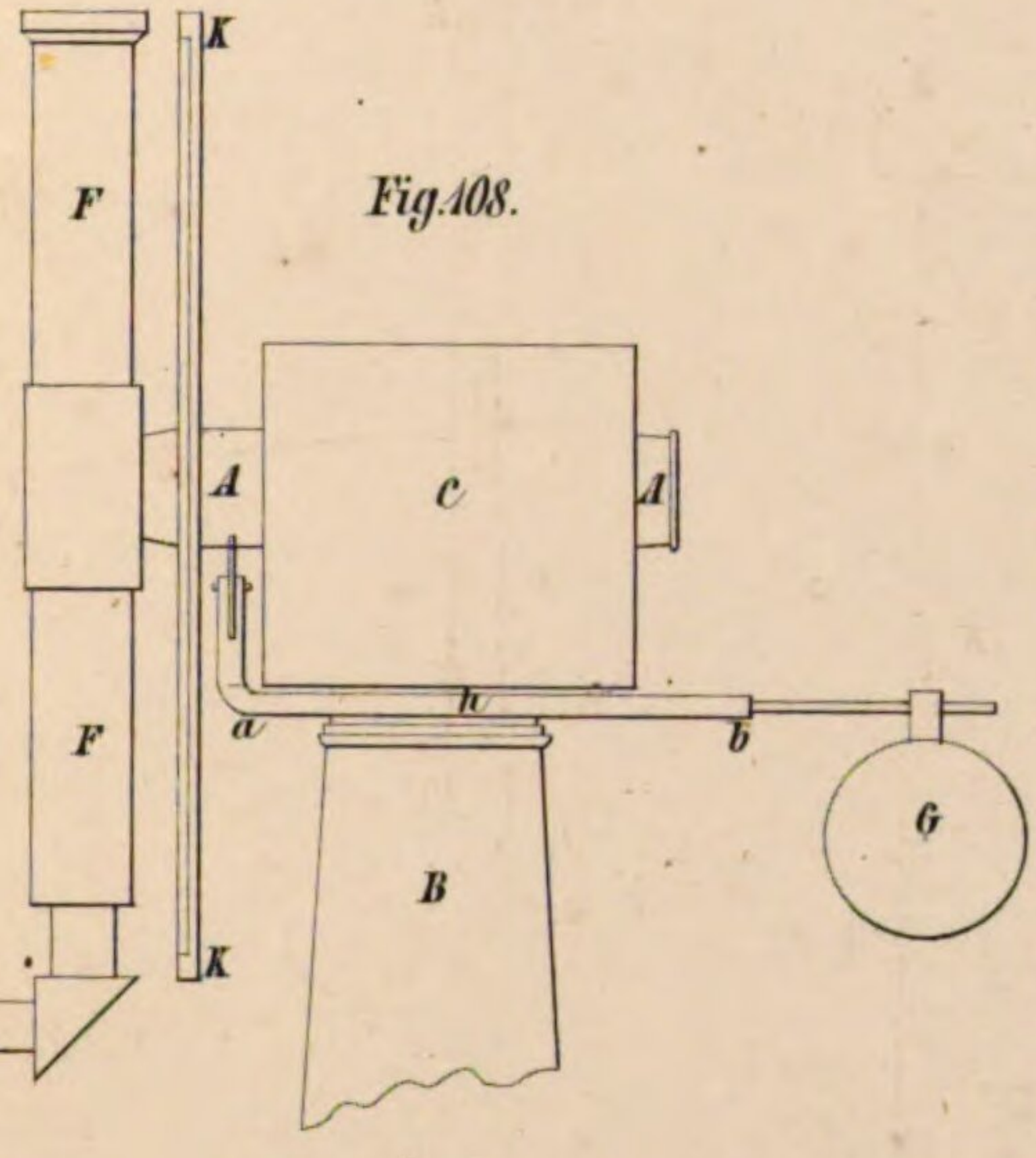
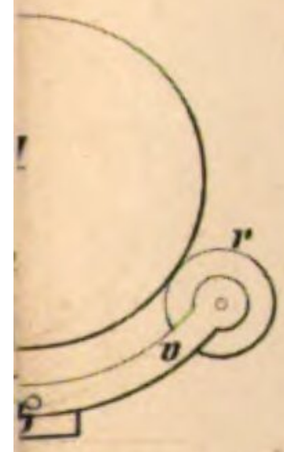


Fig. 108.



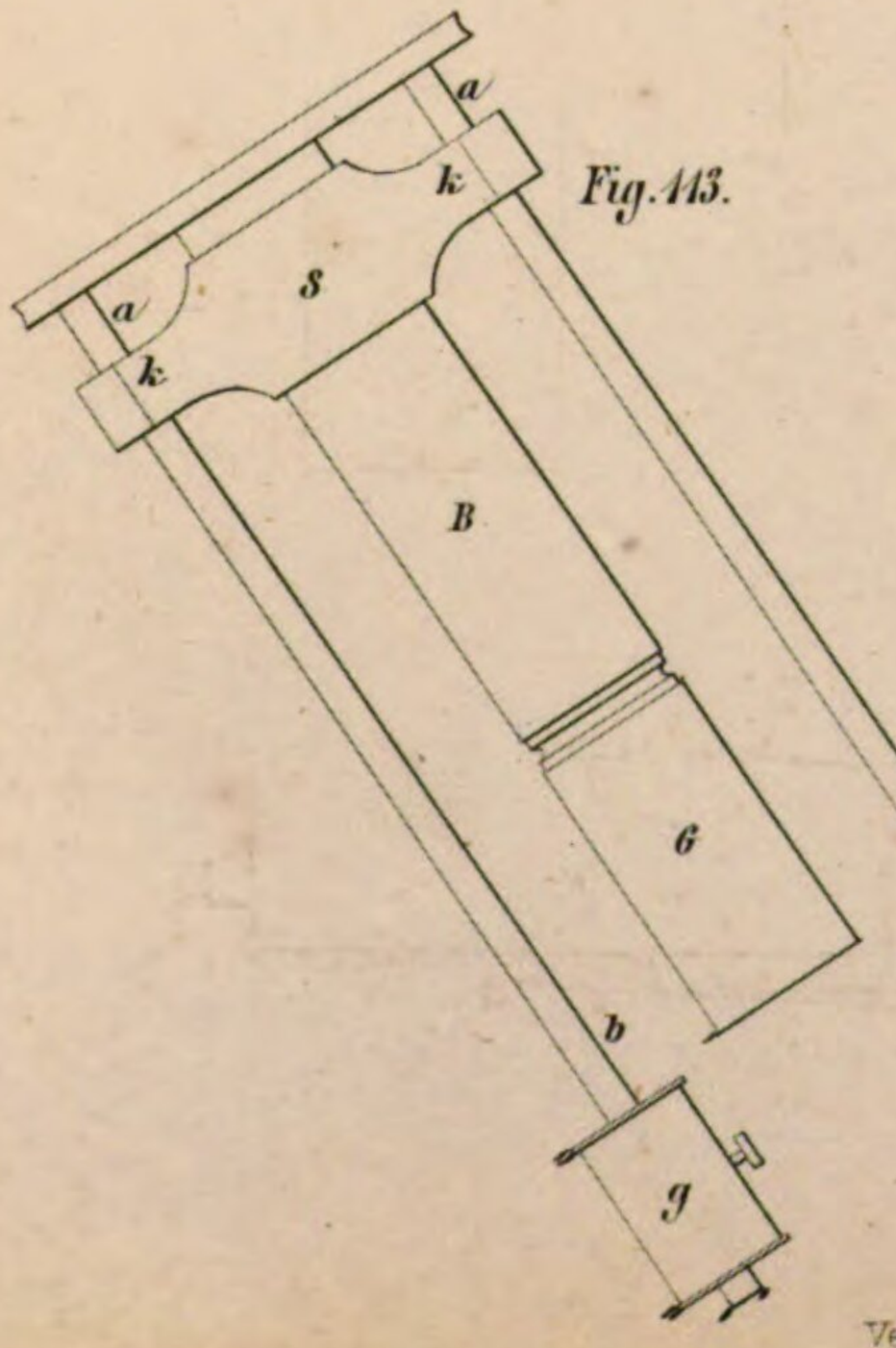


Fig. 113.

irs in Weimar.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig

Fig. 114.

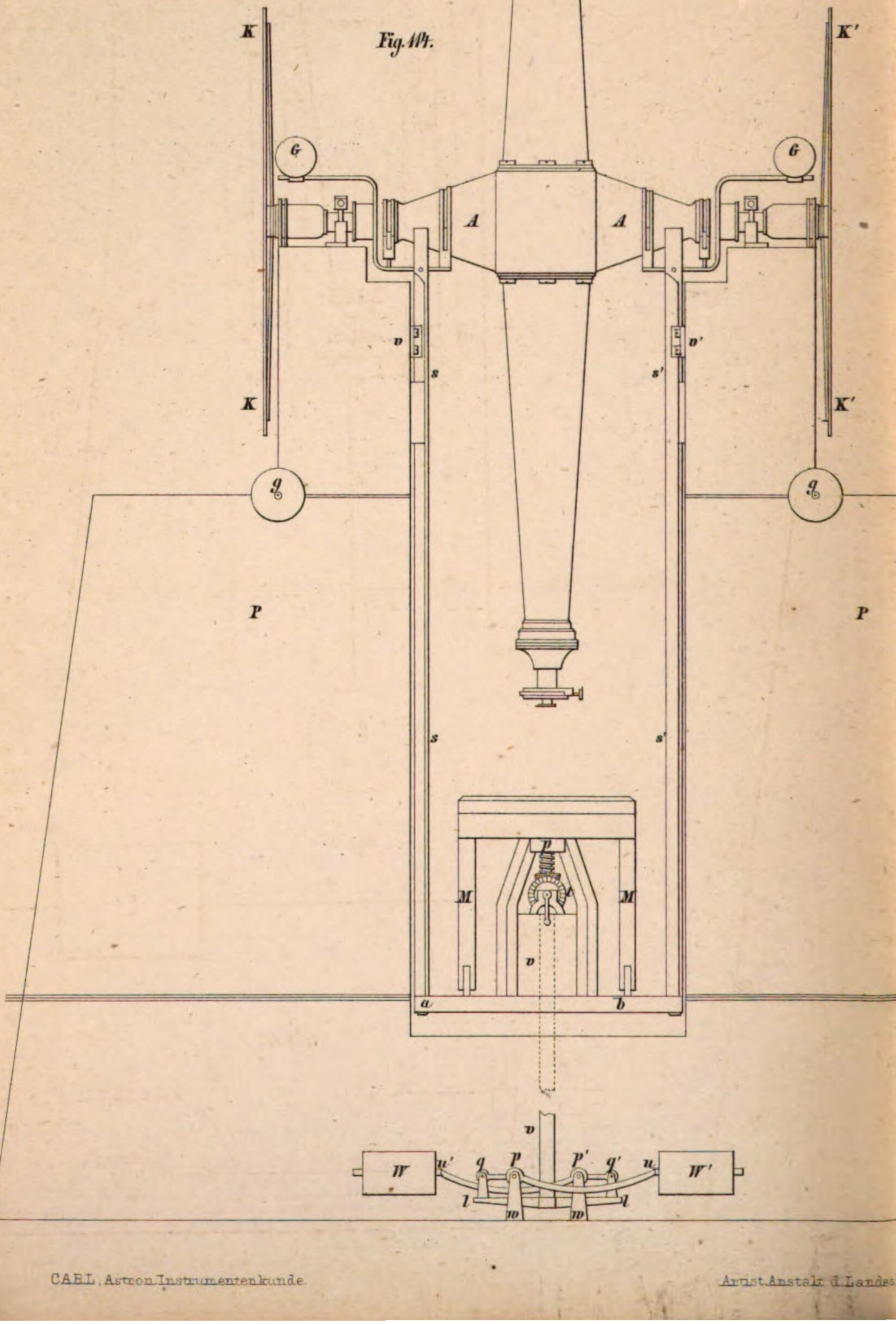


Fig. 115.

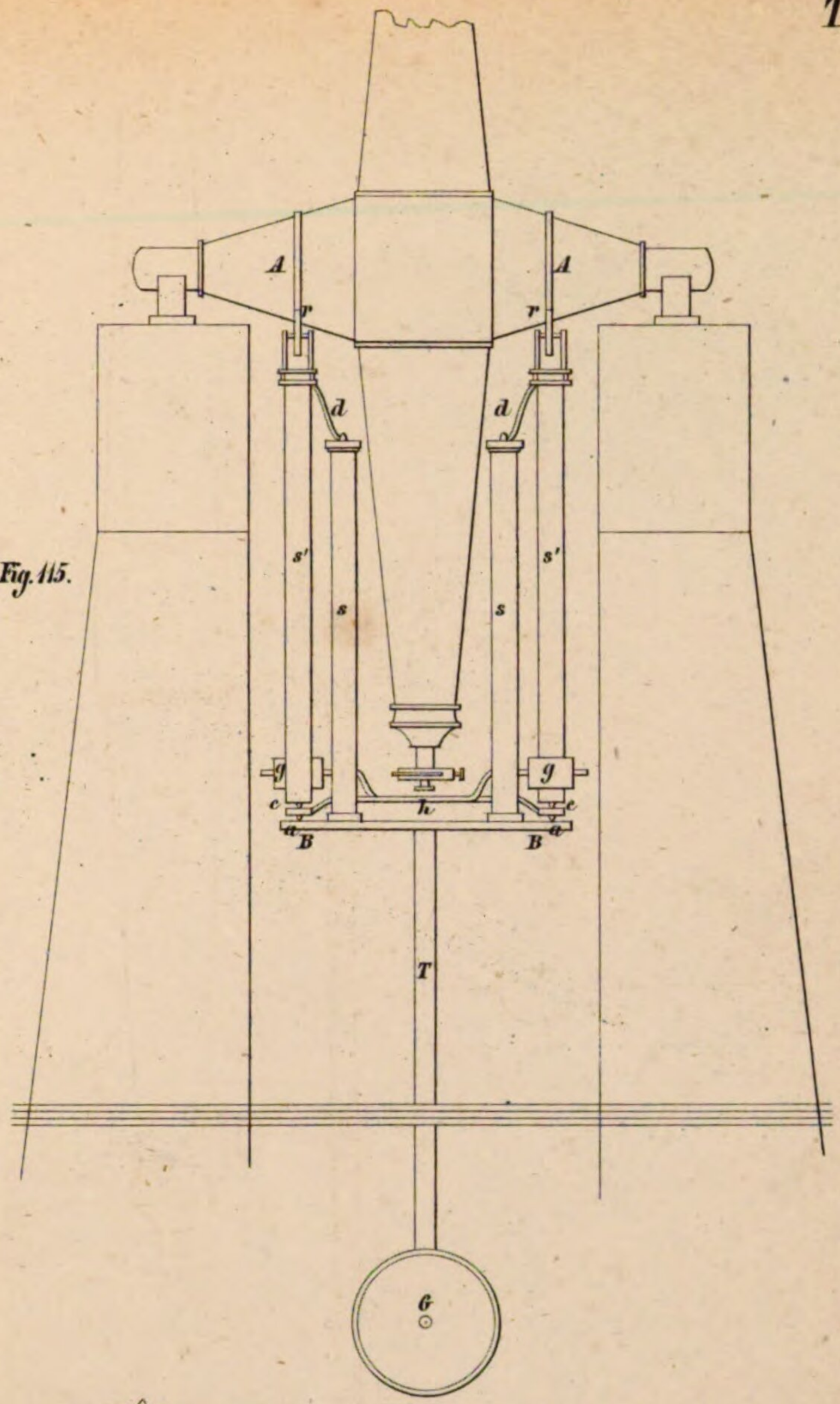


Fig. 116.

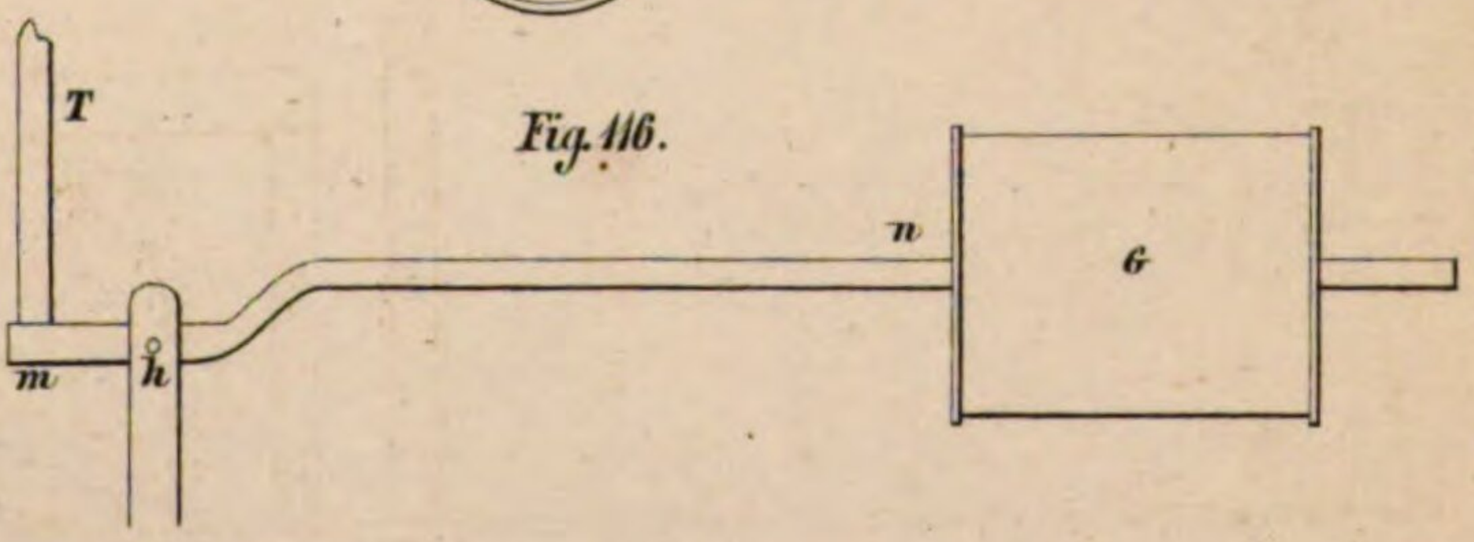
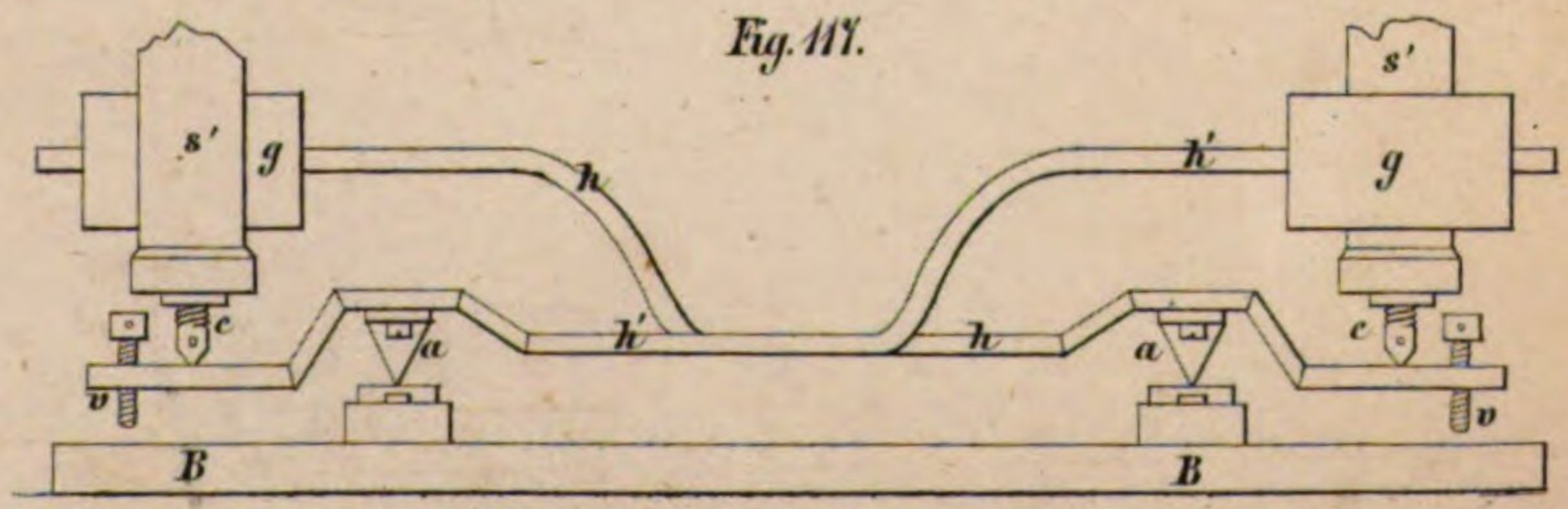


Fig. 117.



Industrie Comptoirs in Weimar

Verlag v Voigt & Günther in Leipzig.

Fig. 118.

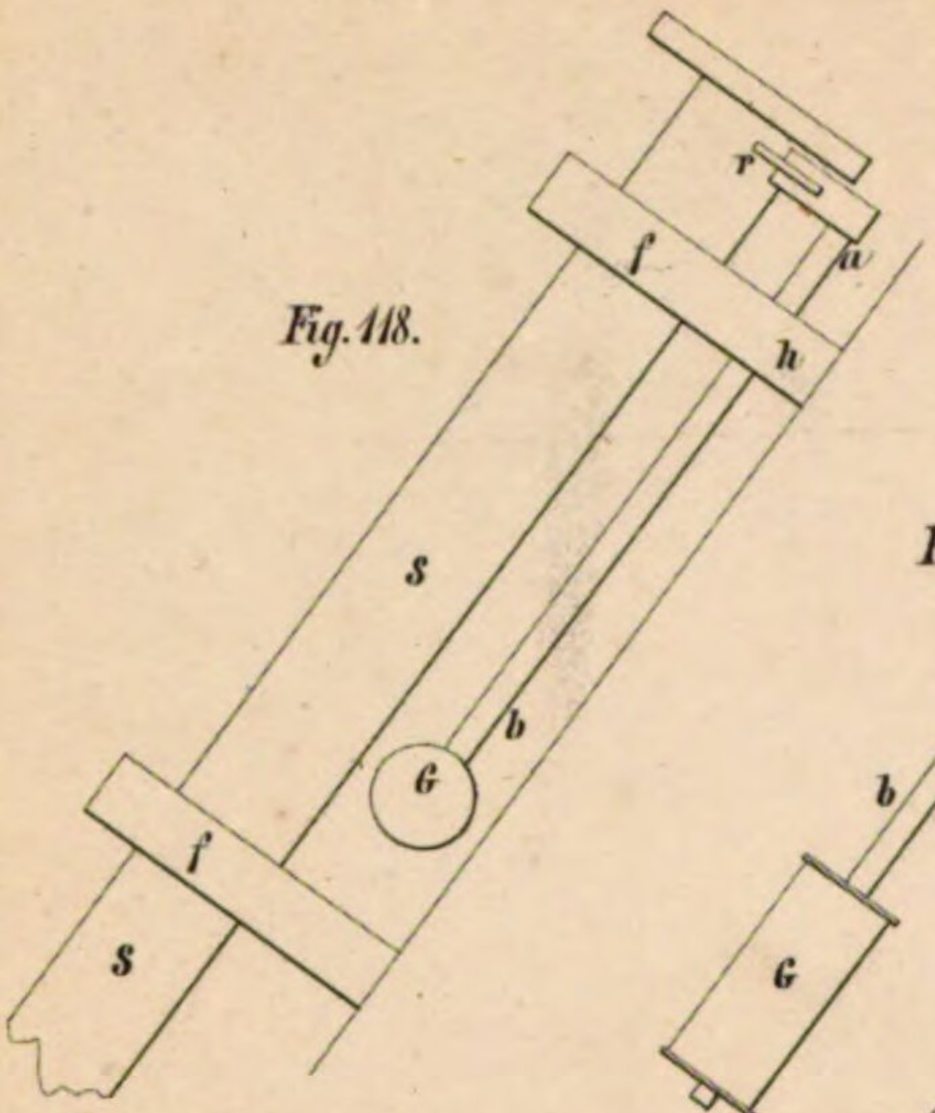


Fig. 119.

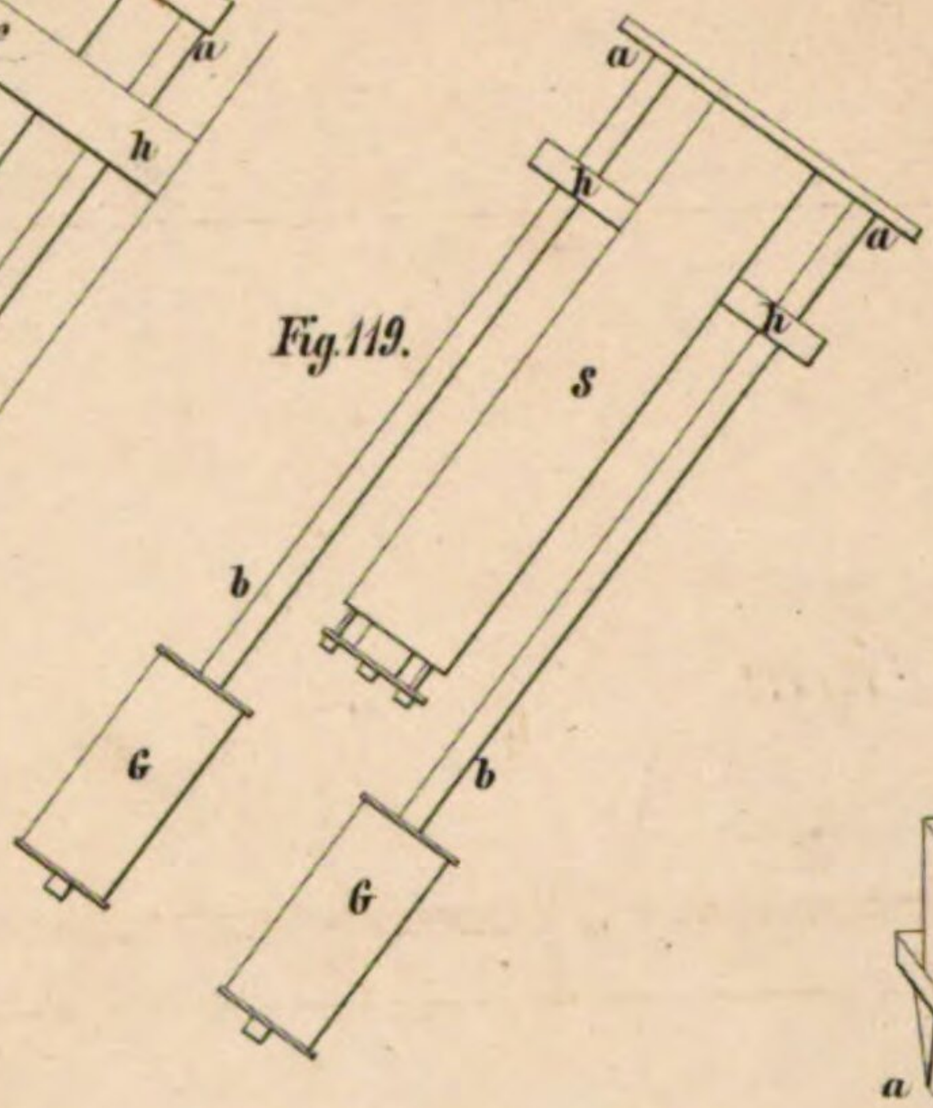
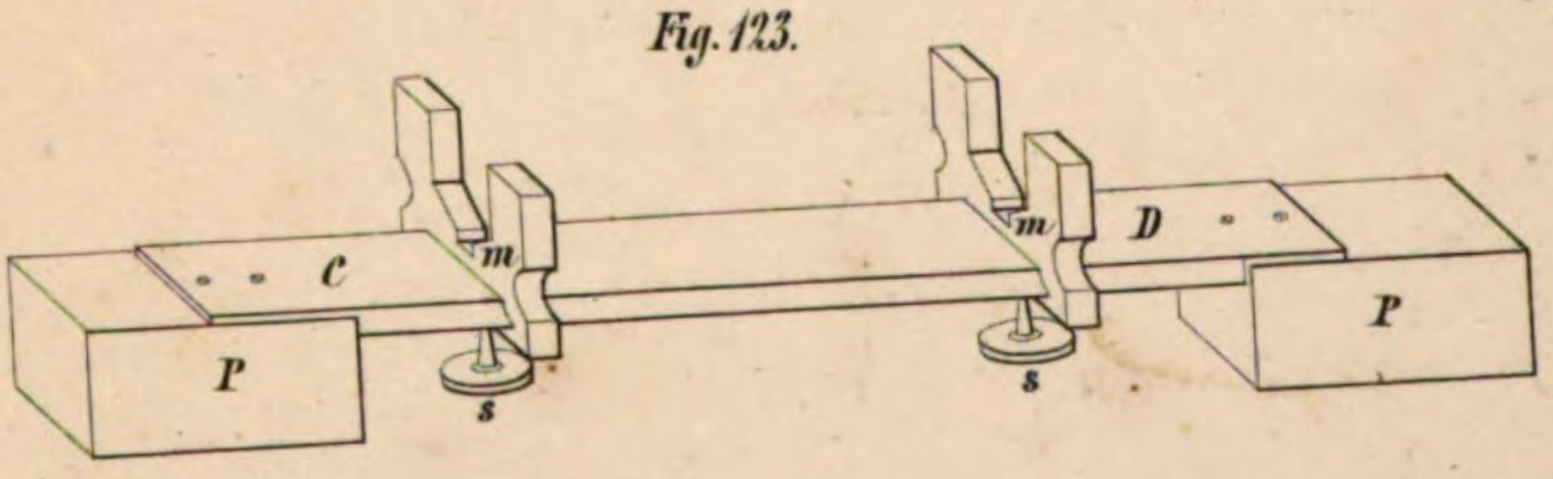


Fig. 120.

Fig. 123.



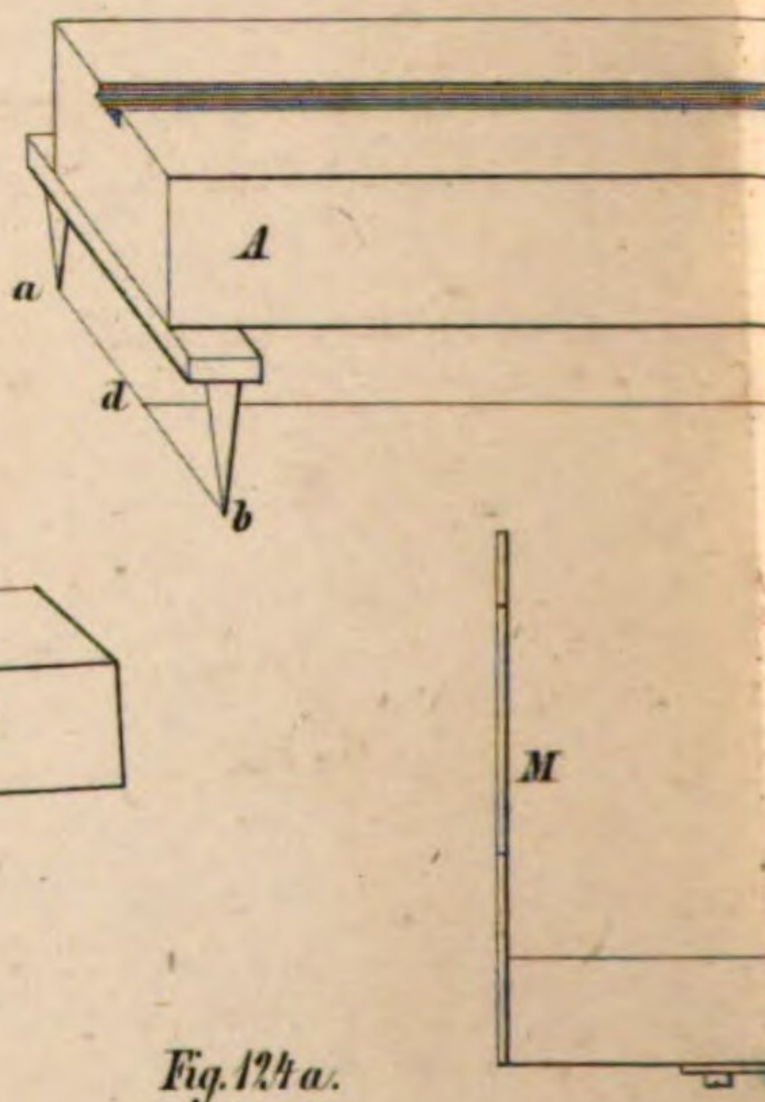


Fig. 124.

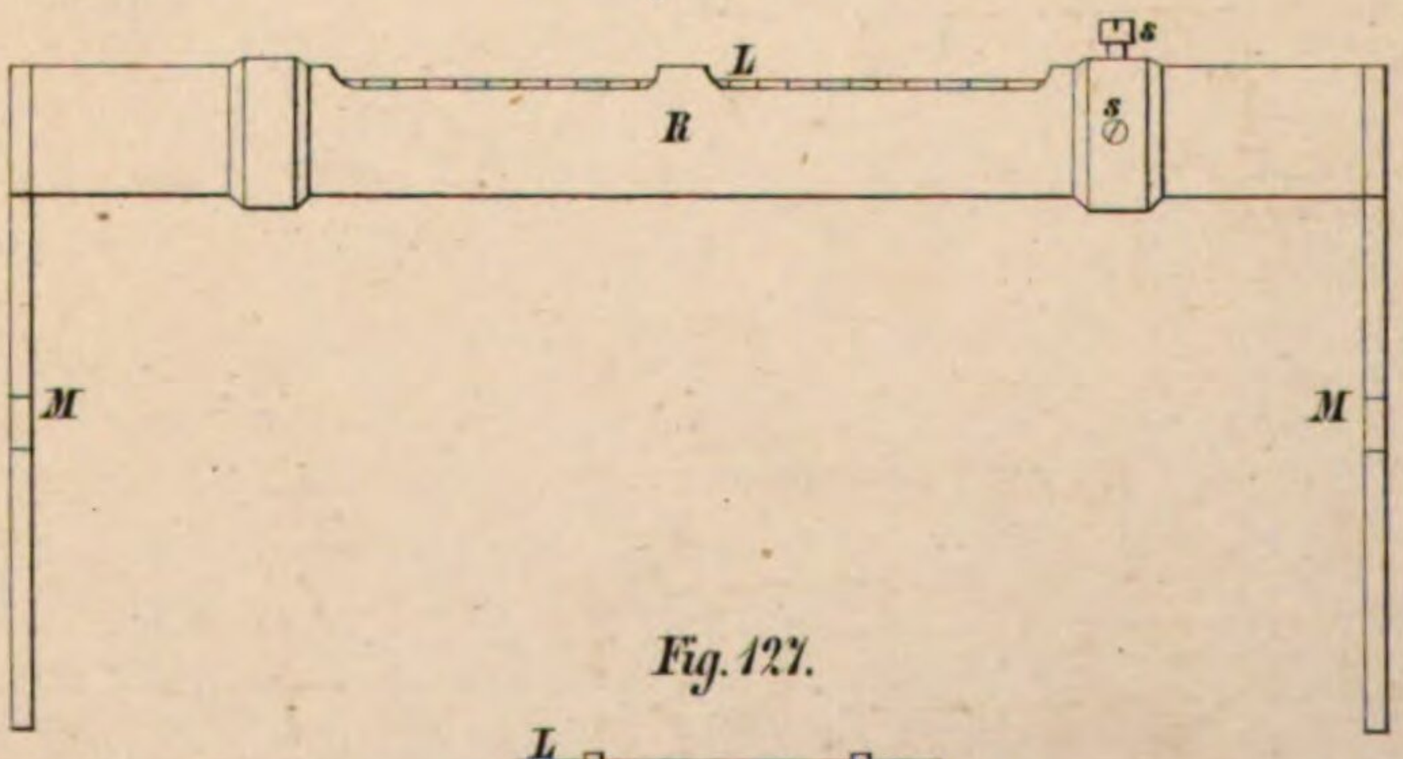
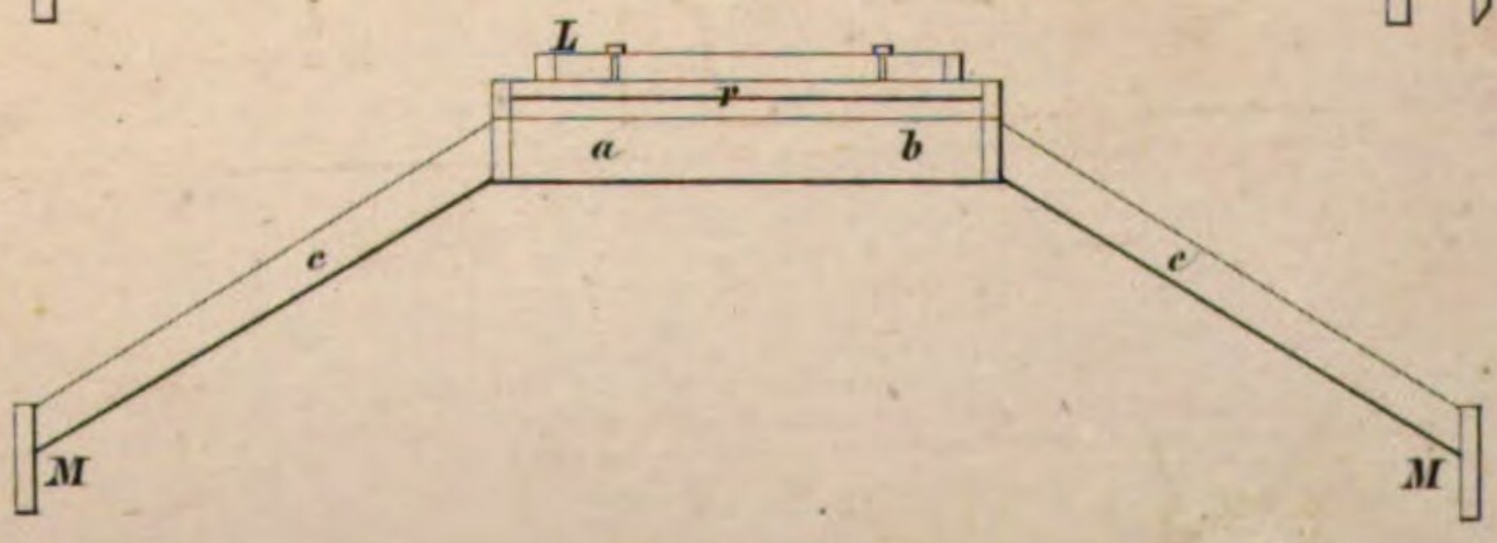
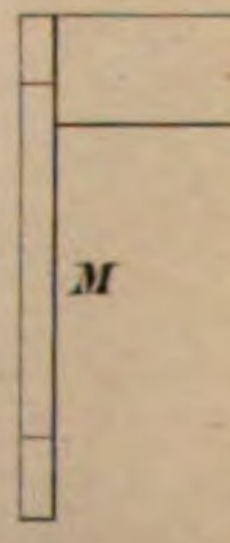


Fig. 124 a.

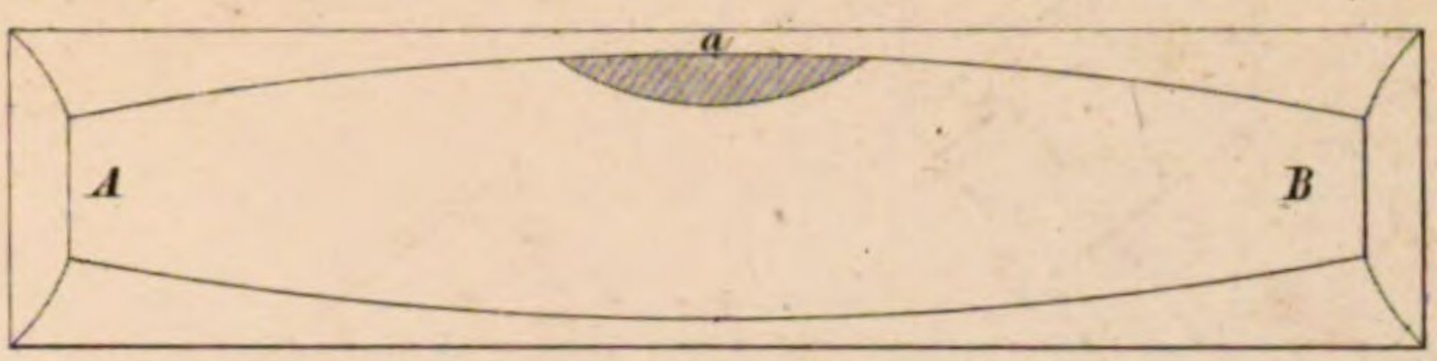
Fig. 127.





Artist. Anstalt d. Landes L

Fig. 121.



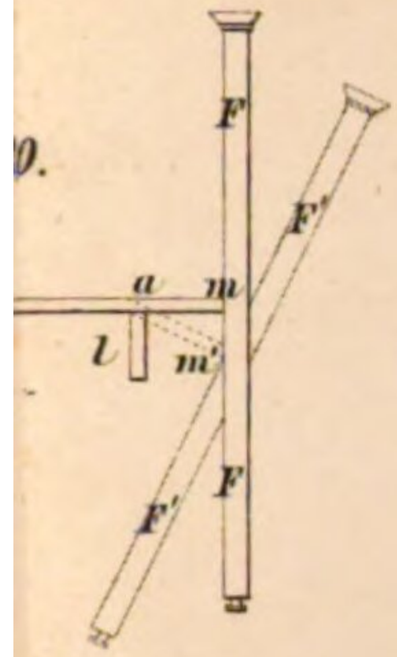


Fig. 122.

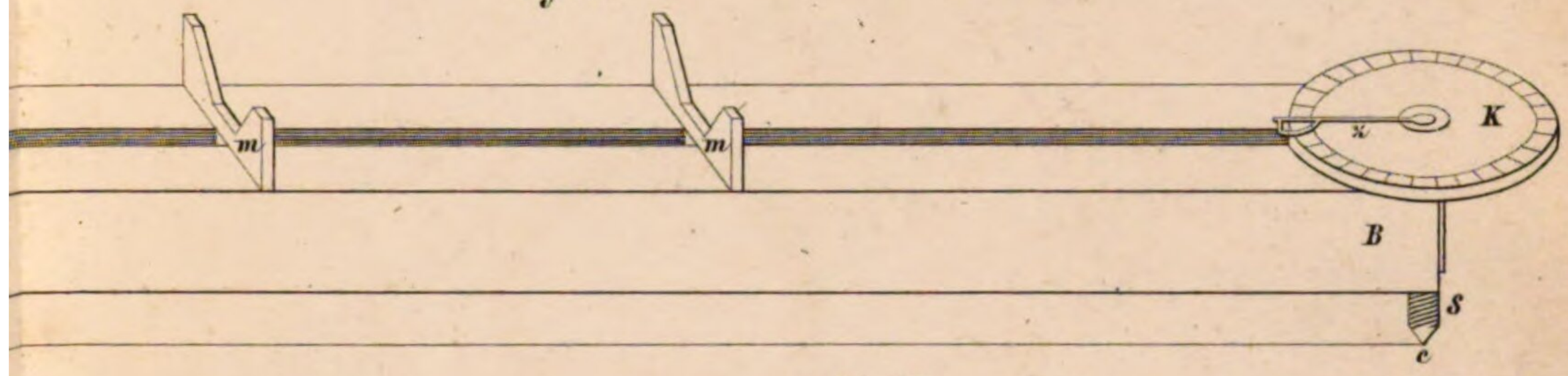


Fig. 125a.

Fig. 125.

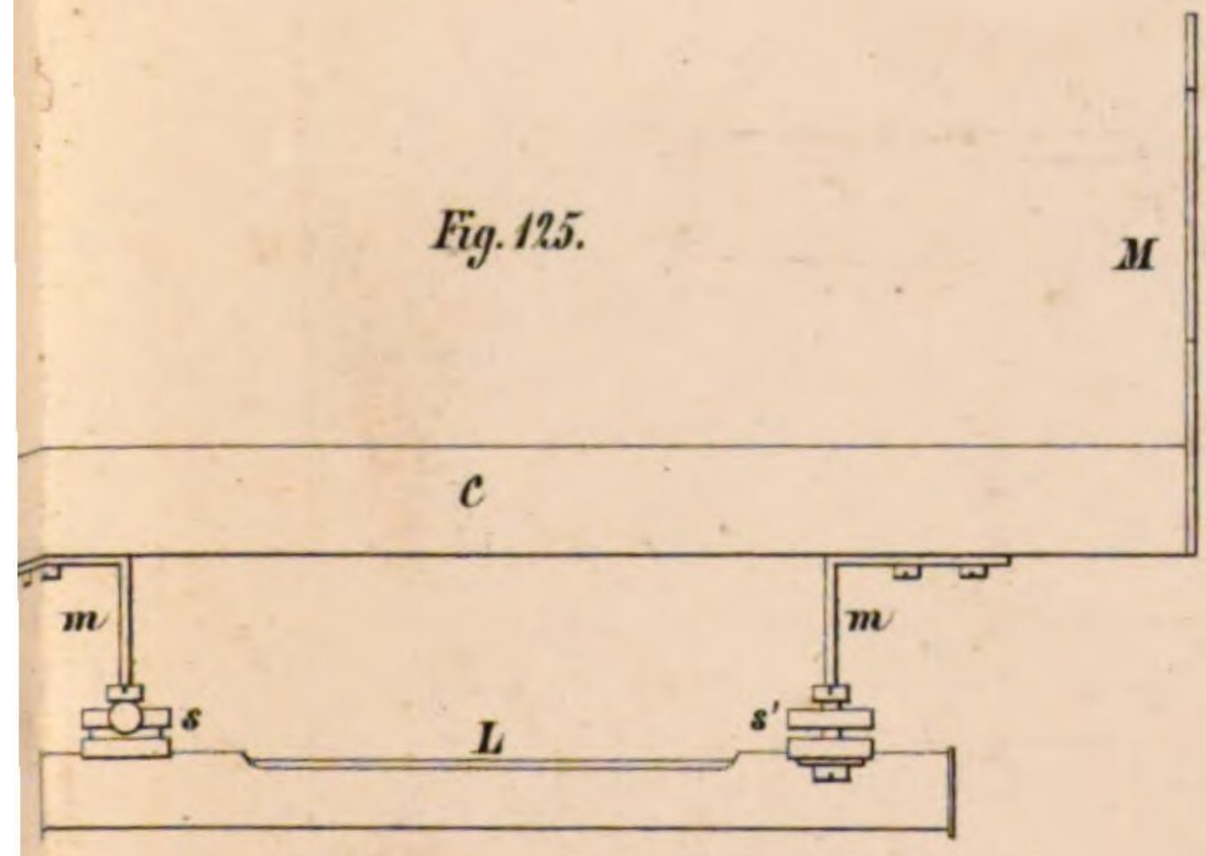
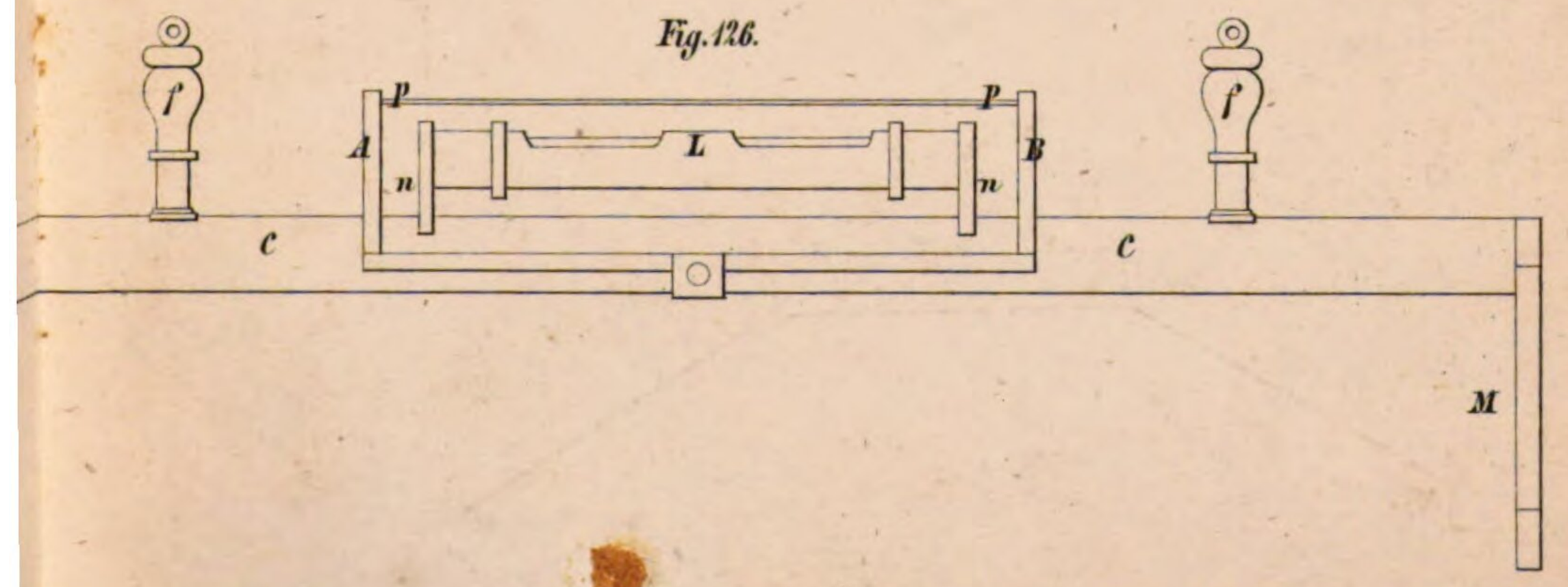


Fig. 126.



...strie Comptoirs in Weimar.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

Fig: 128.

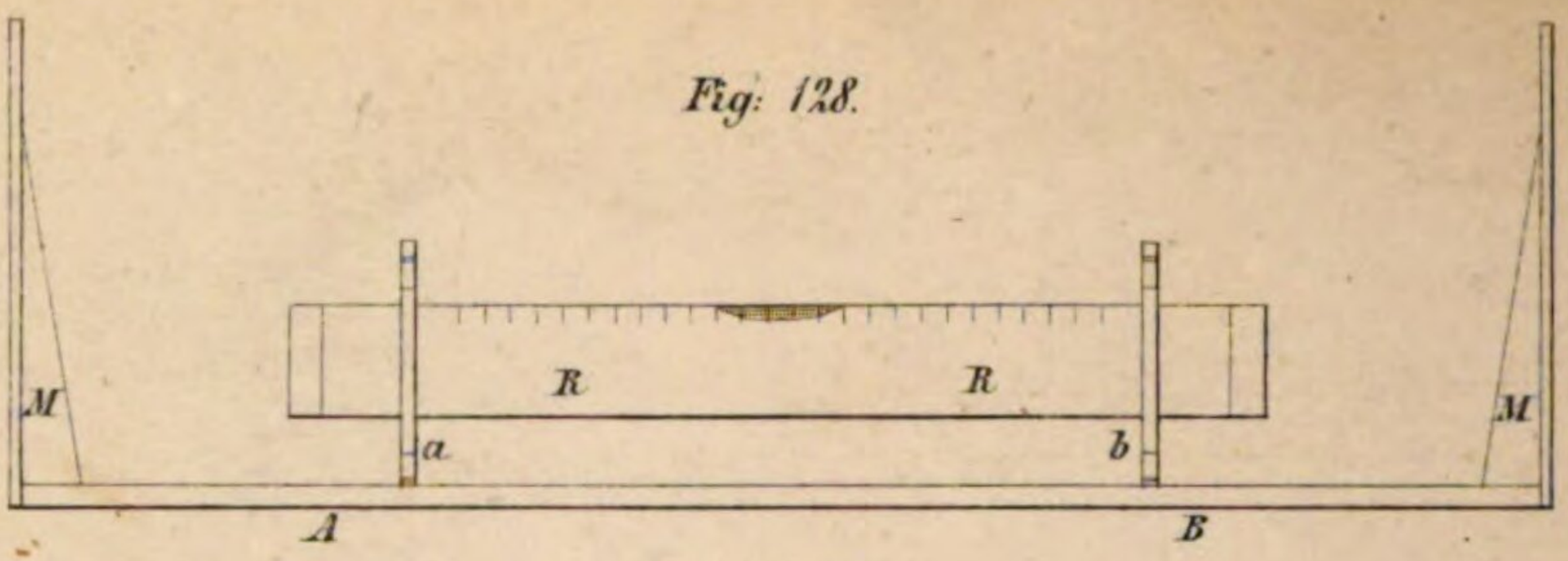
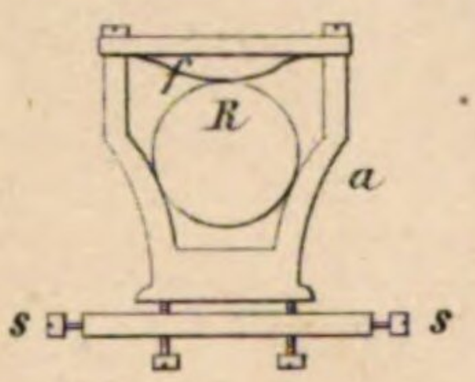
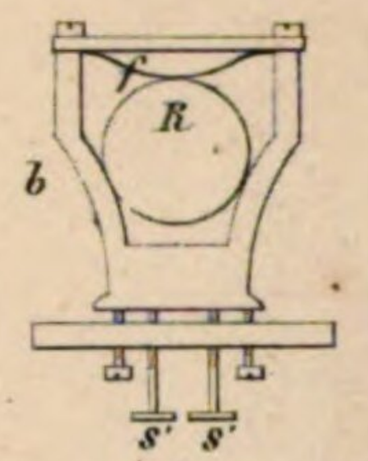
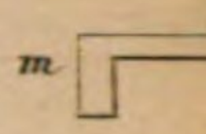


Fig: 129.







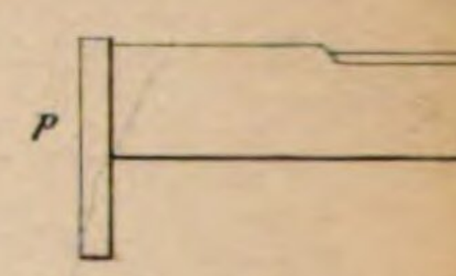


Fig: 134 a.

Fig: 135.

Fig: 134

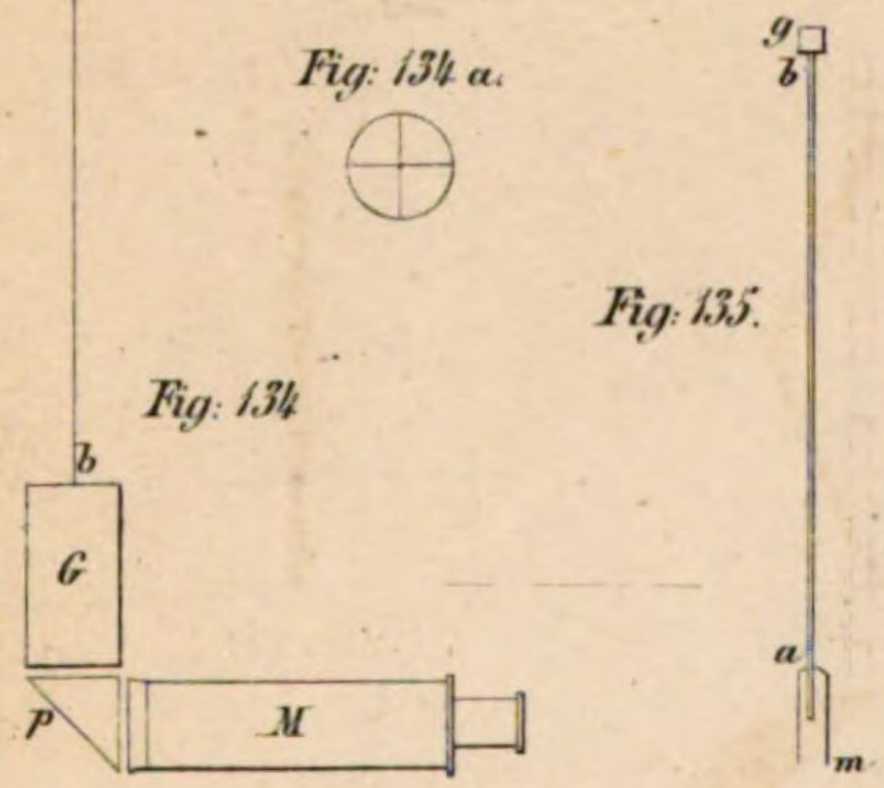


Fig: 136.

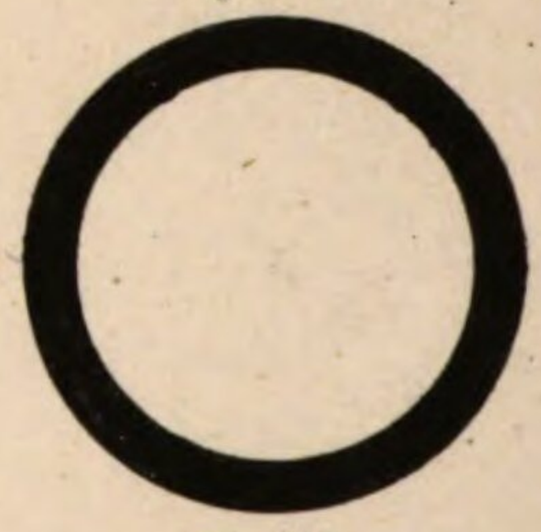


Fig: 137.

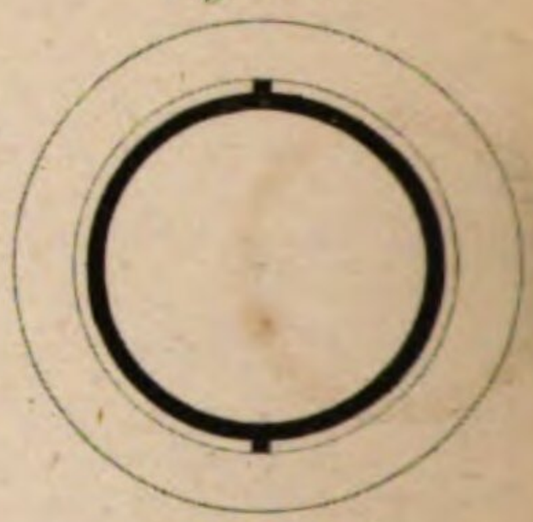


Fig: 142.

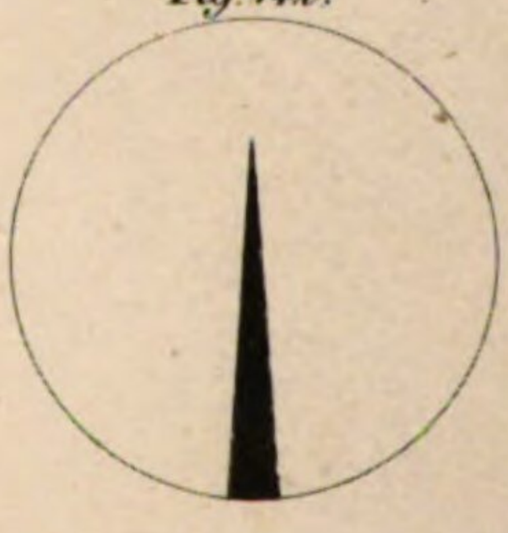
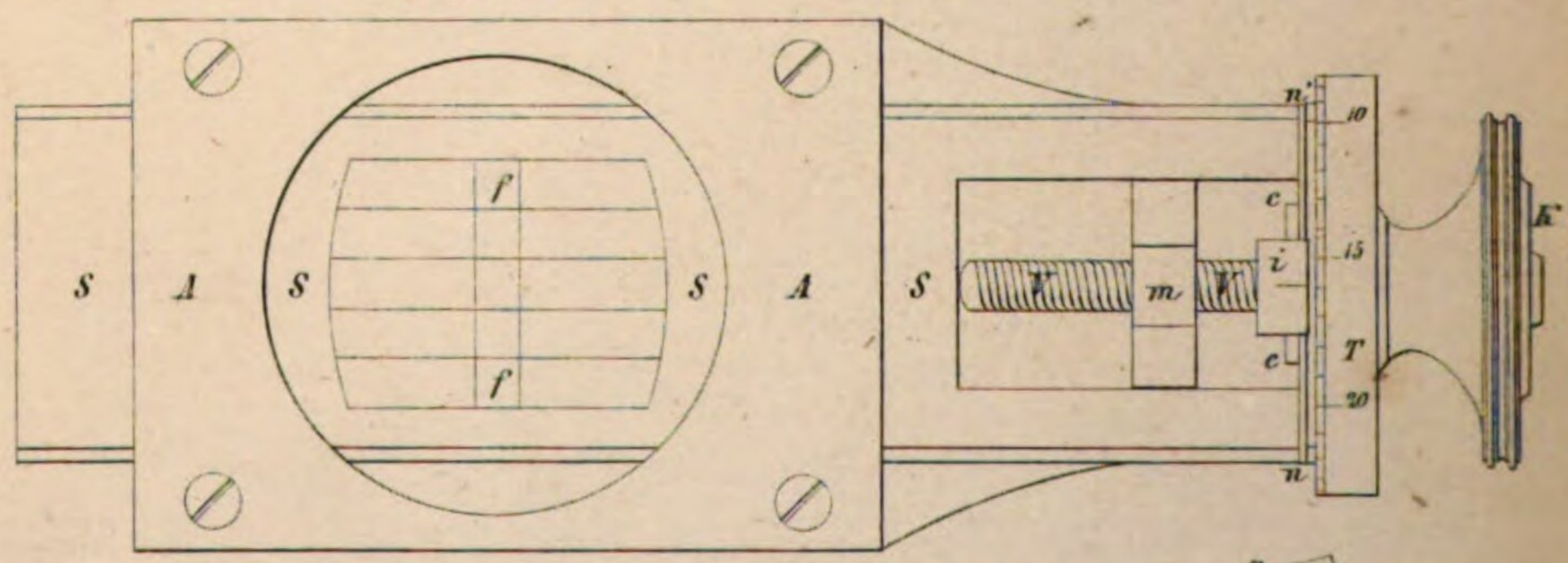


Fig: 143.

Fig: 147.



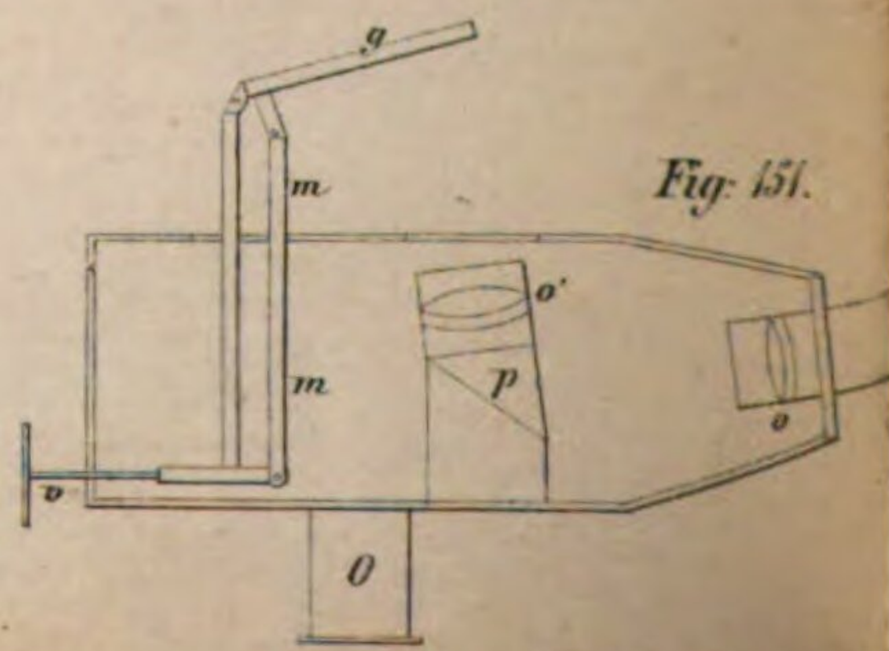


Fig: 151.

Artist. Anstalt d. Landes

Fig: 130.

Fig: 131.

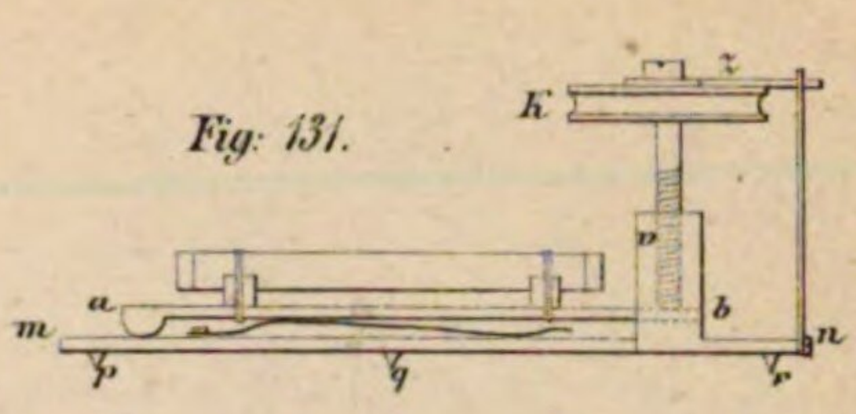


Fig: 132.

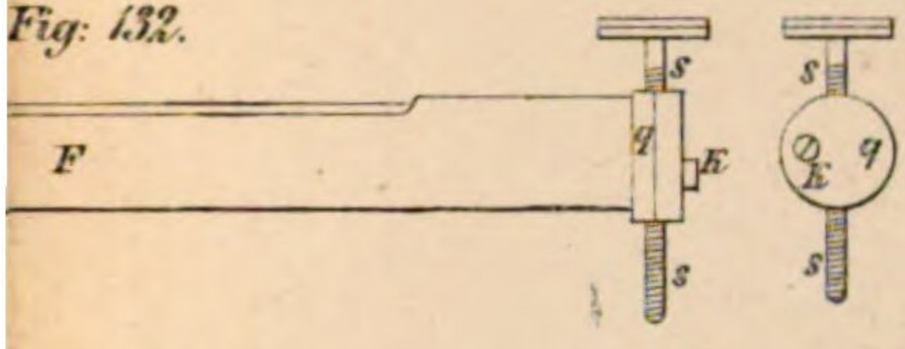


Fig: 133.

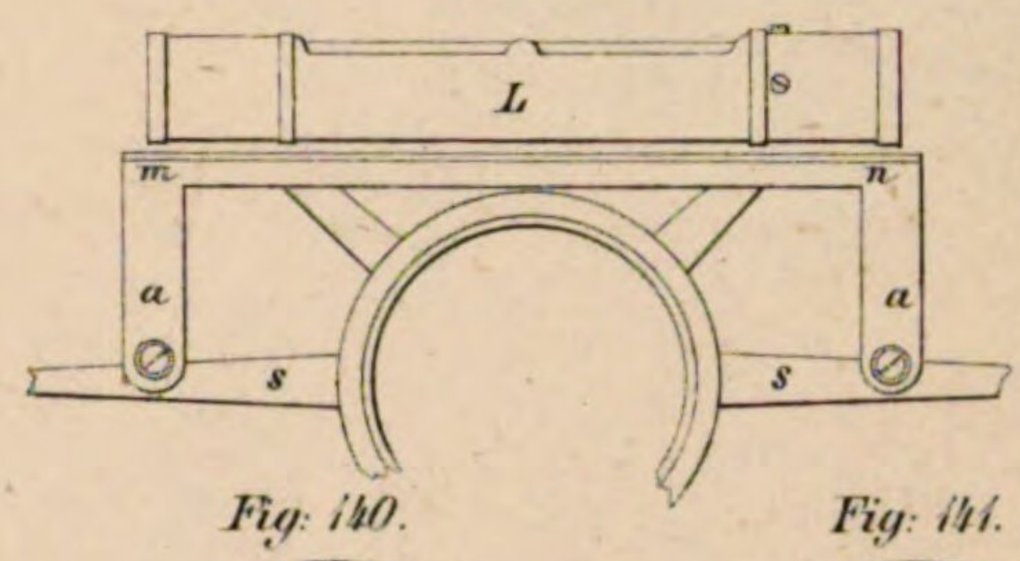


Fig: 138.

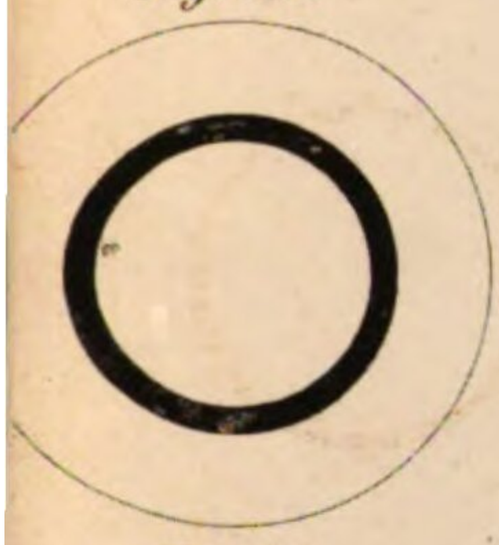


Fig: 139.

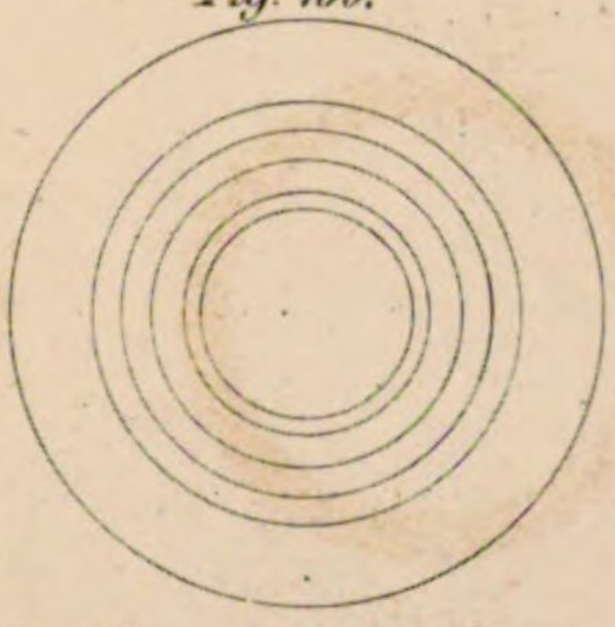


Fig: 140.

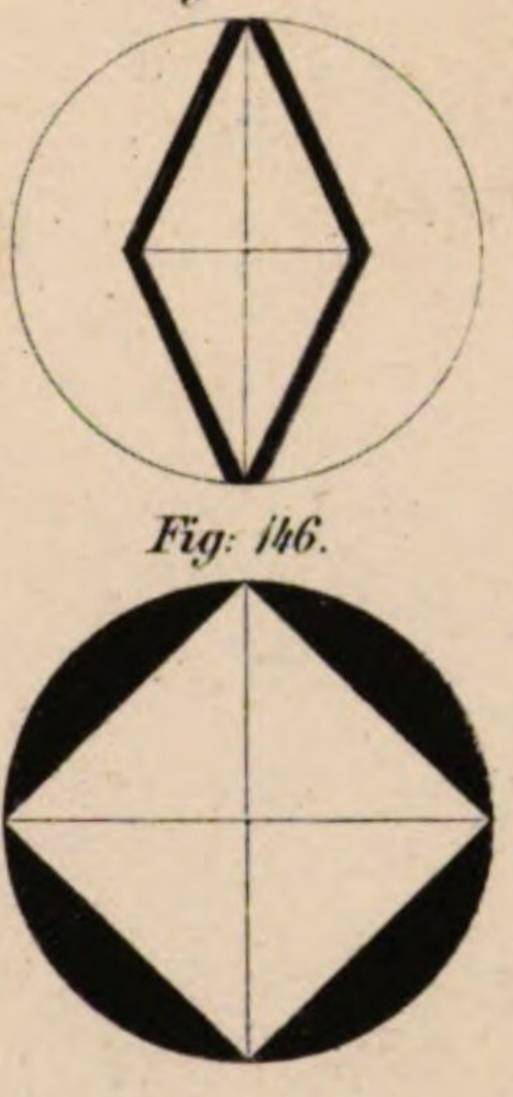


Fig: 141.

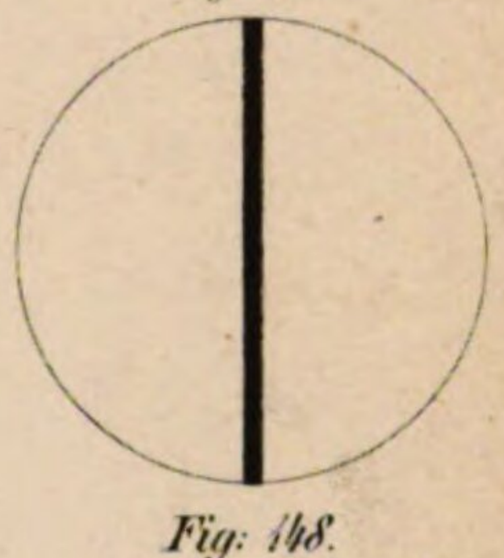


Fig: 144.

Fig: 145.

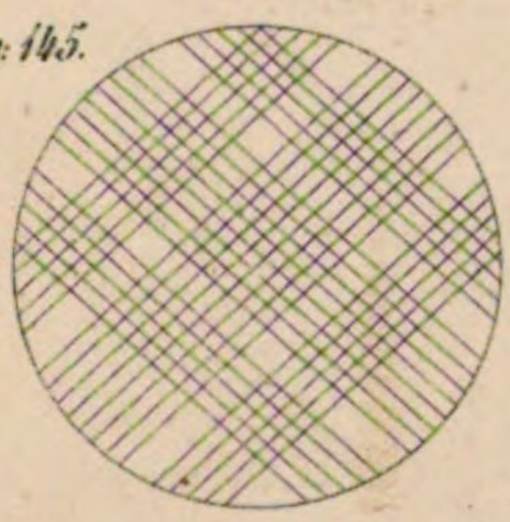


Fig: 146.

Fig: 148.

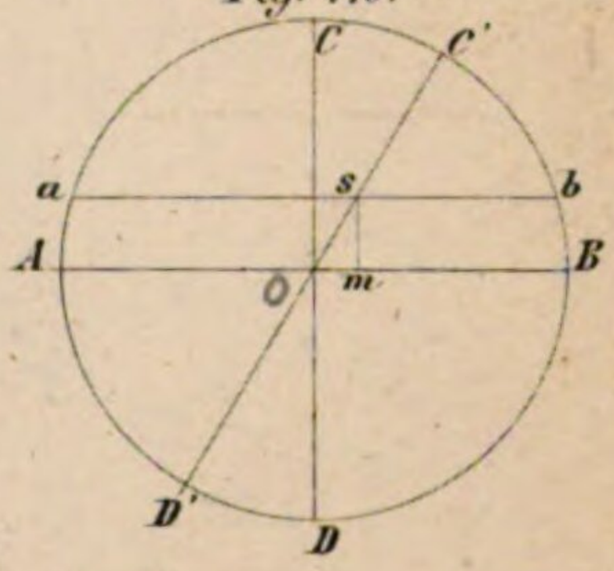


Fig: 150.

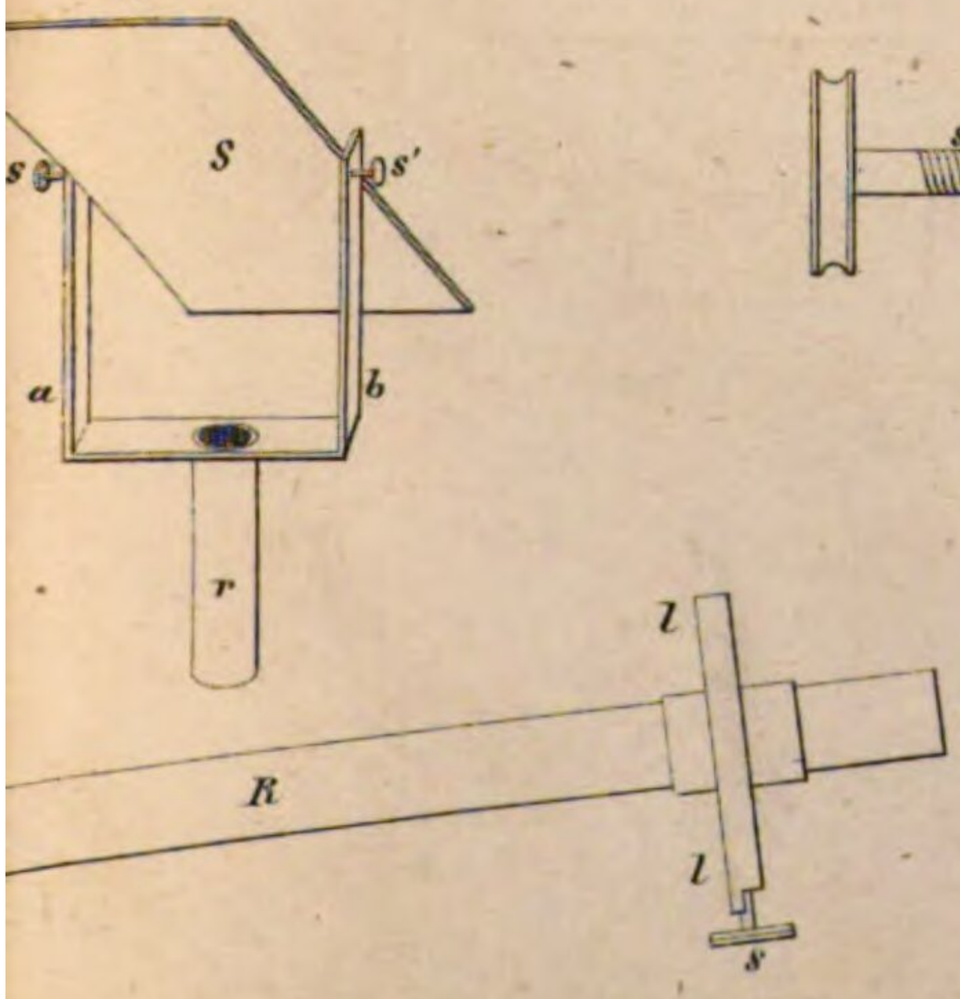
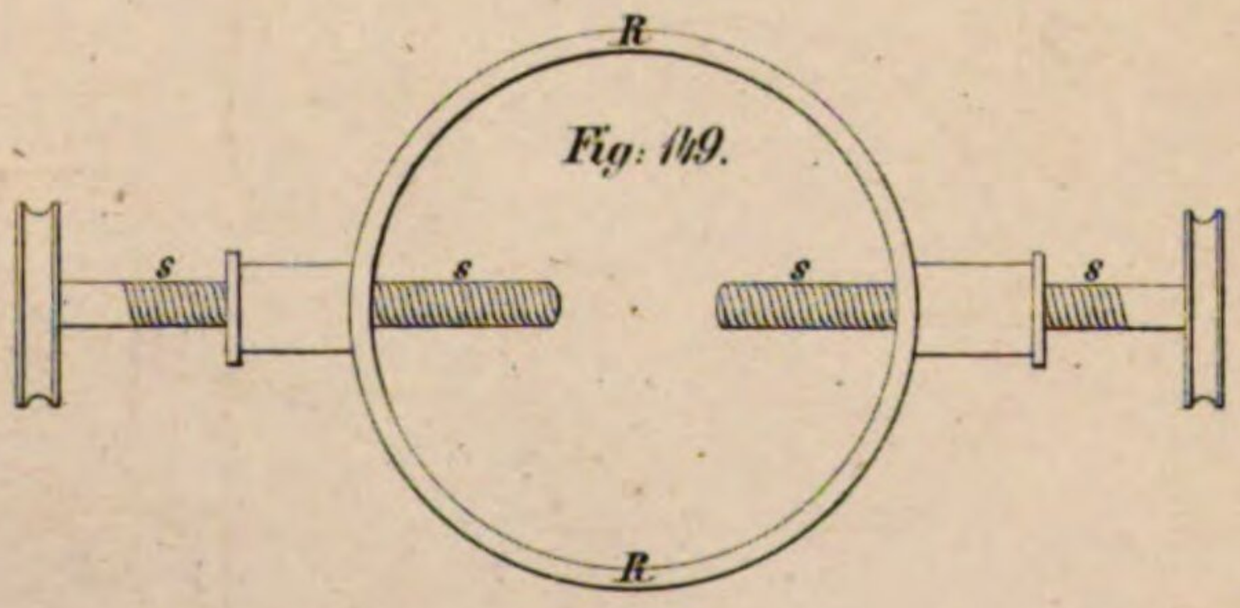


Fig: 149.



Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

dustrie Compteirs in Weimar.

Fig: 152.

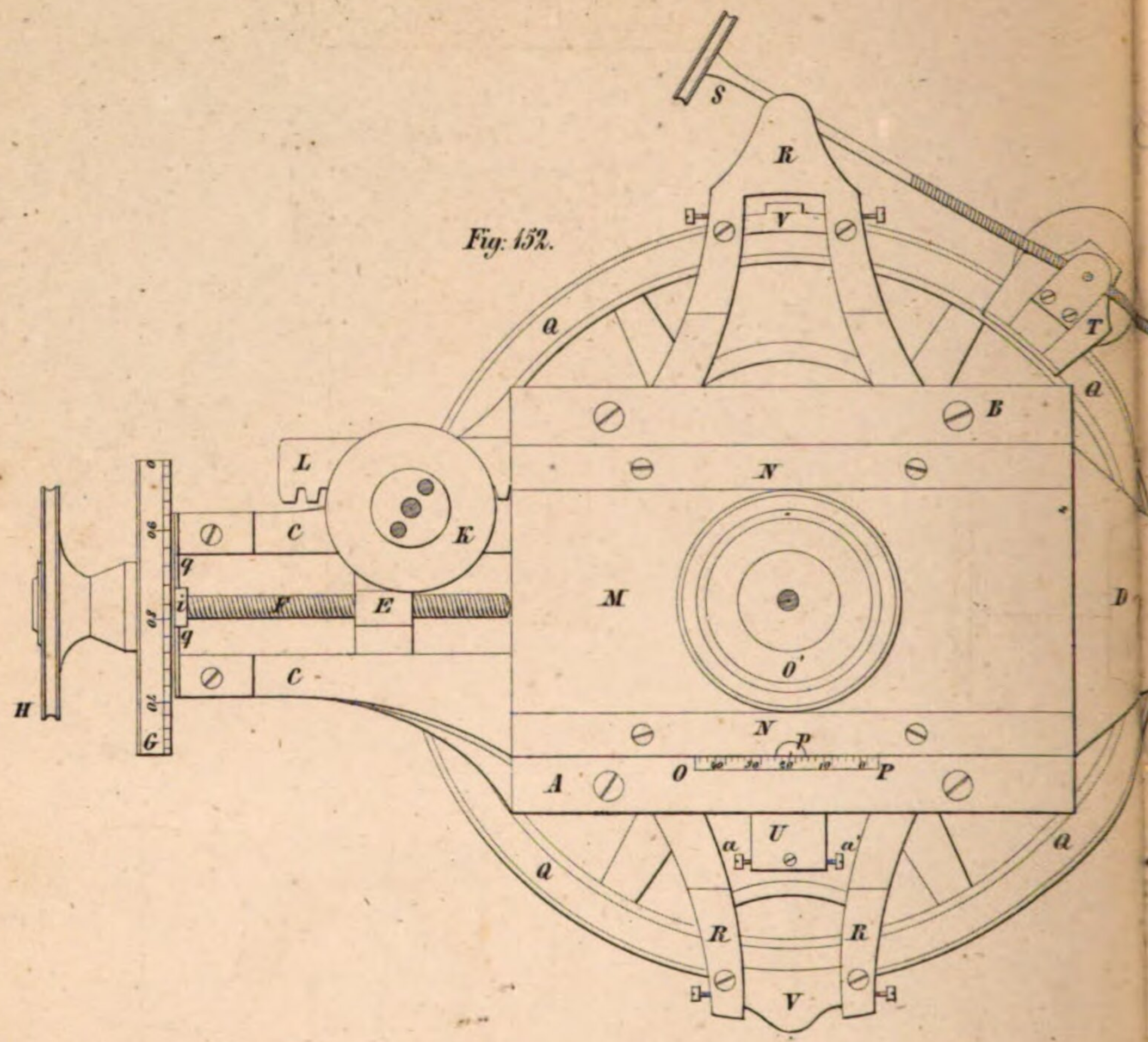


Fig: 153.

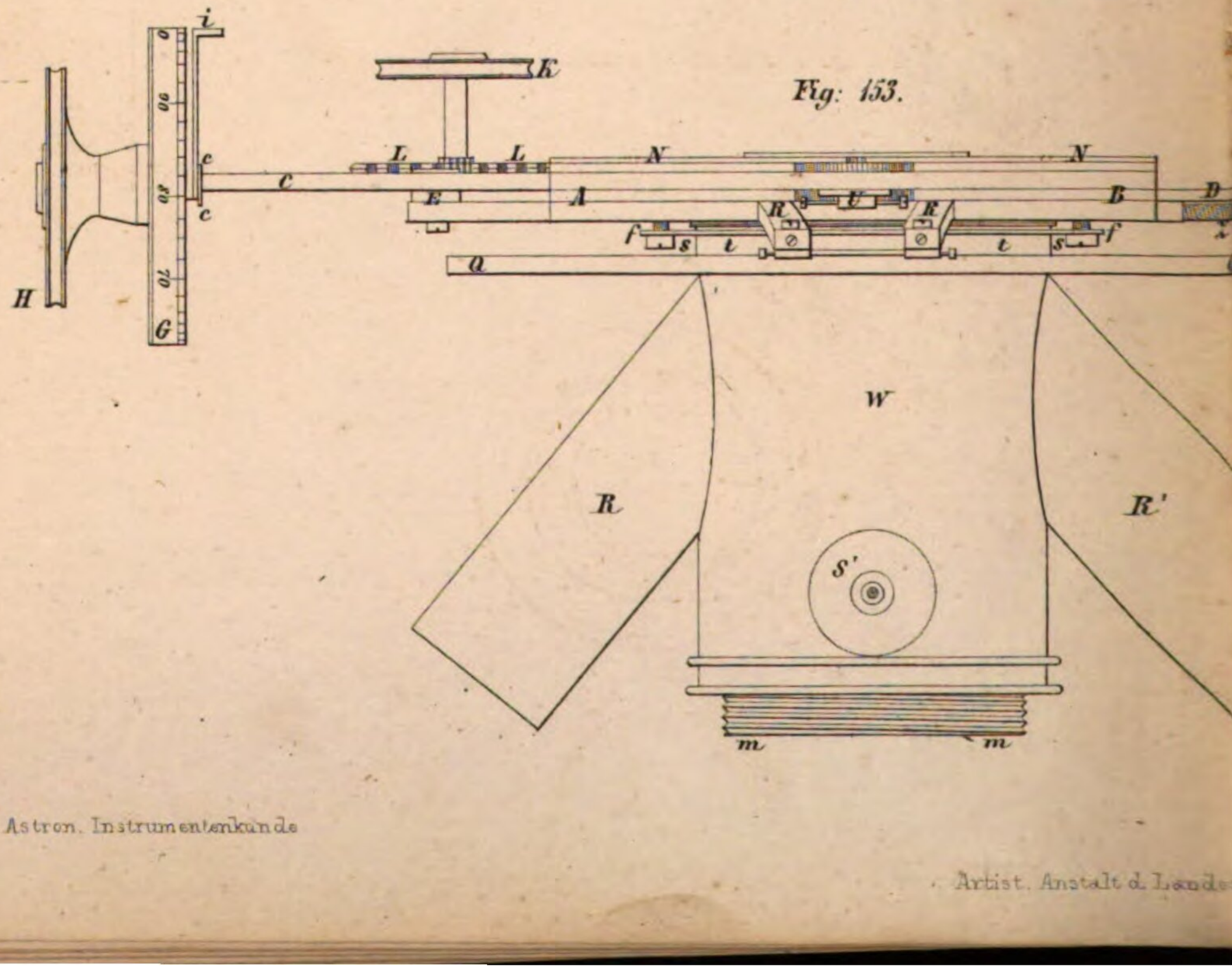


Fig: 154.

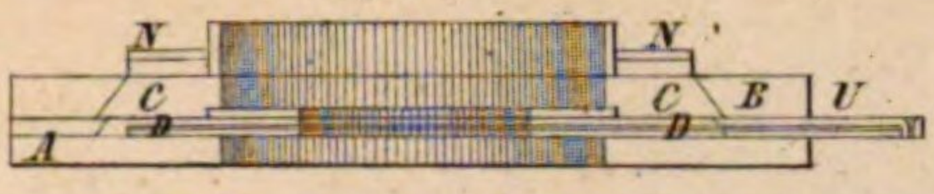
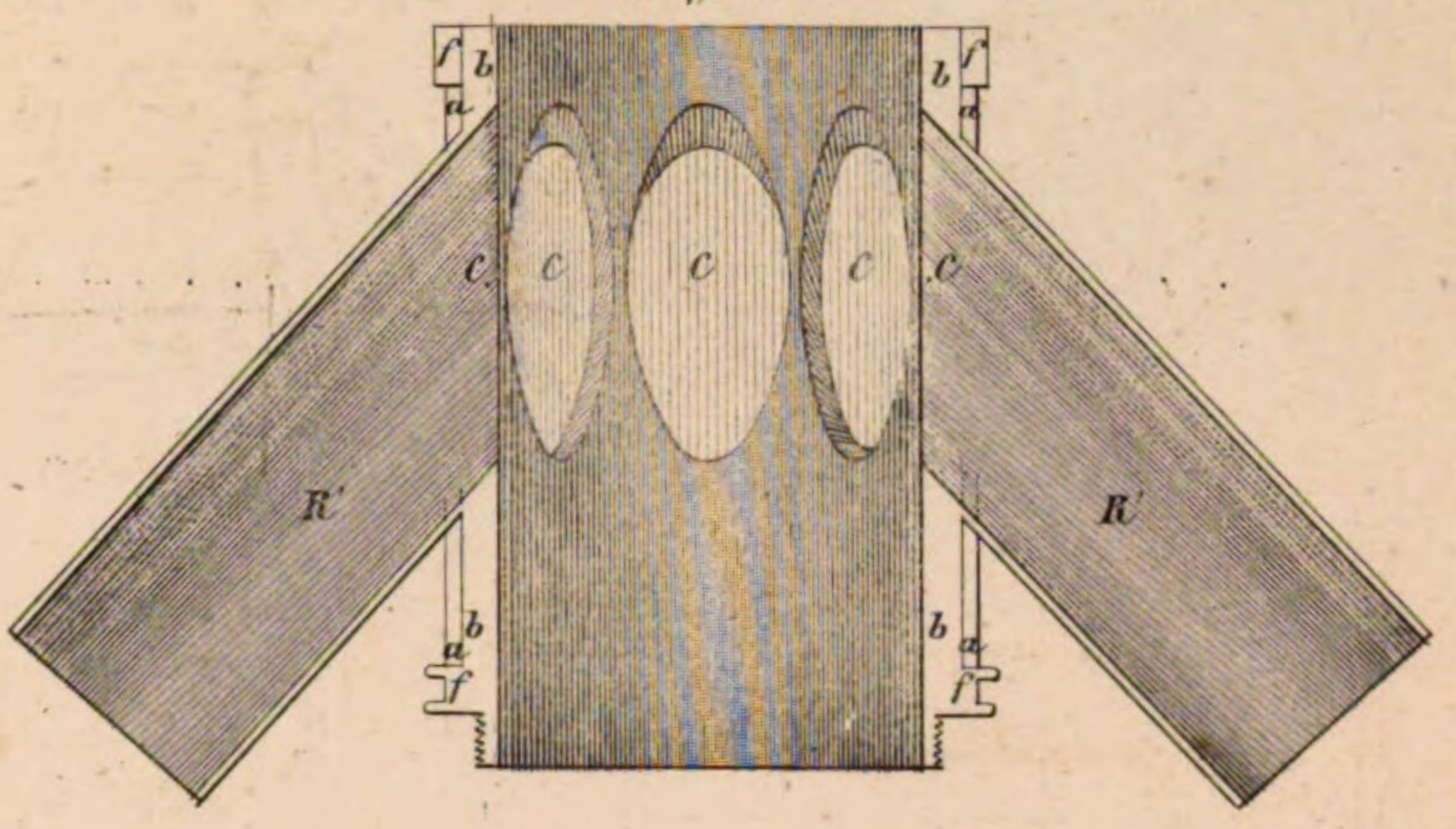


Fig: 155.



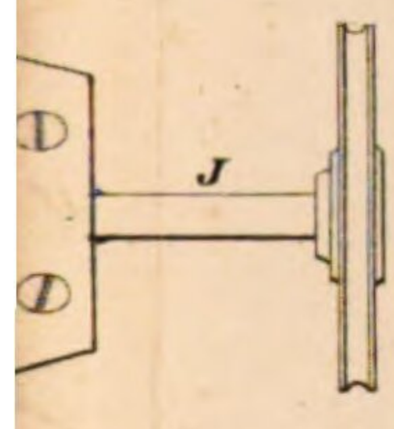


Fig: 156.

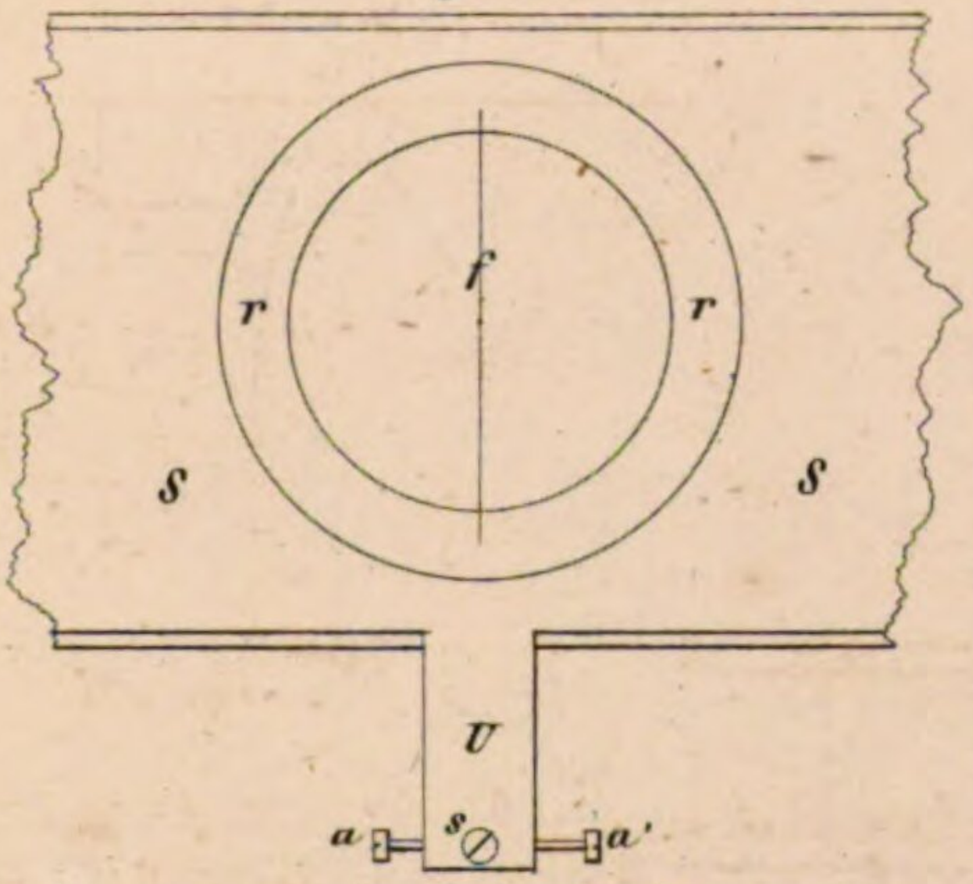


Fig: 157.

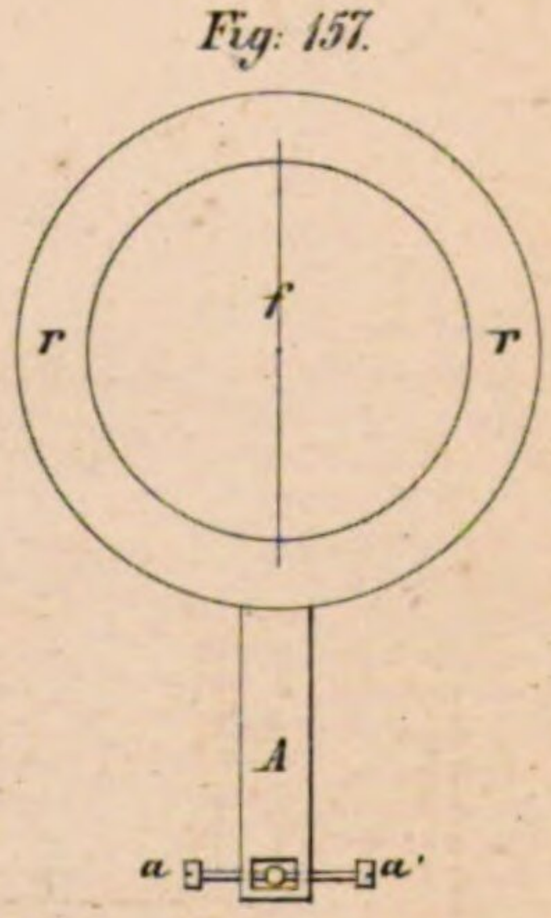
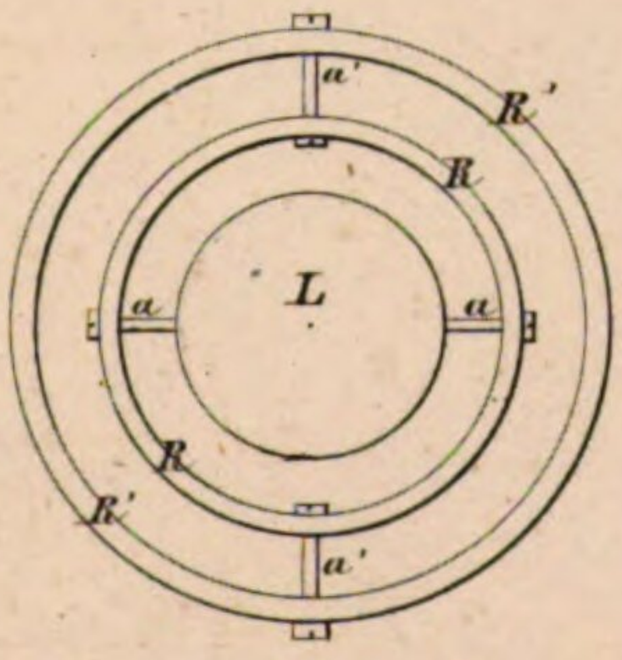


Fig: 158.



Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

Industrie Comptoirs in Weimar.

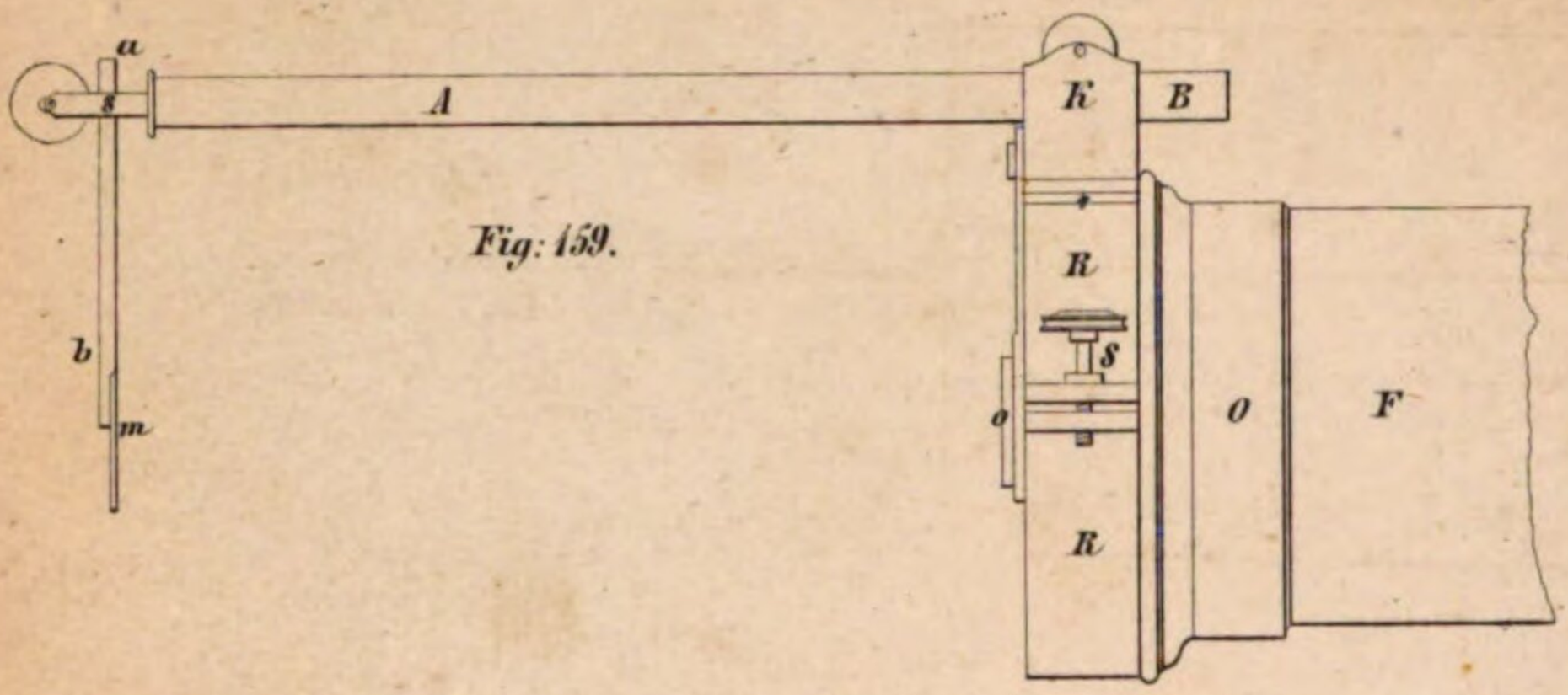


Fig: 159.

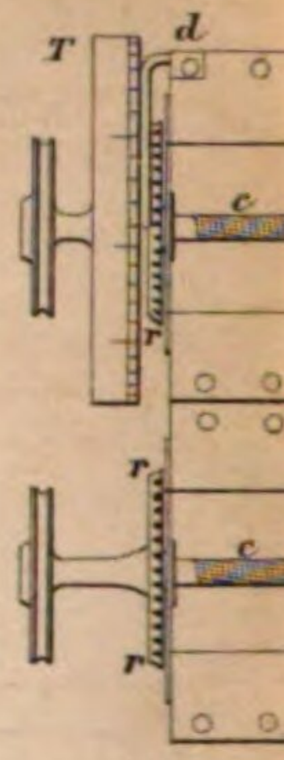


Fig: 160.

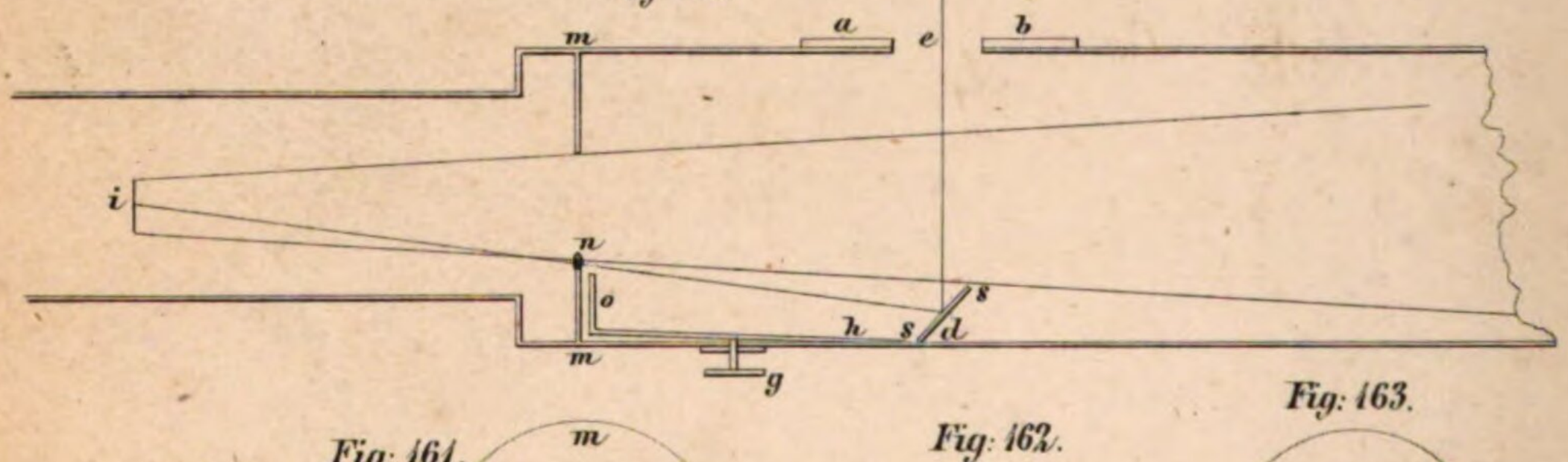


Fig: 163.

Fig: 161.

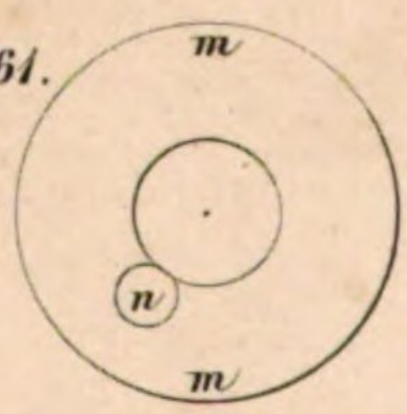
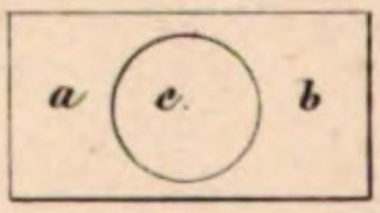


Fig: 162.



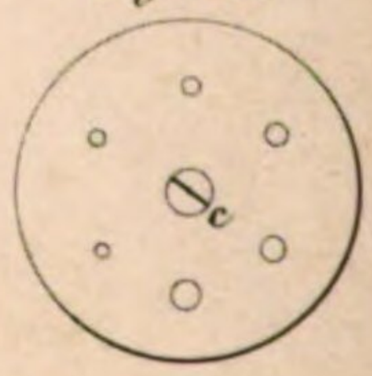


Fig: 164.

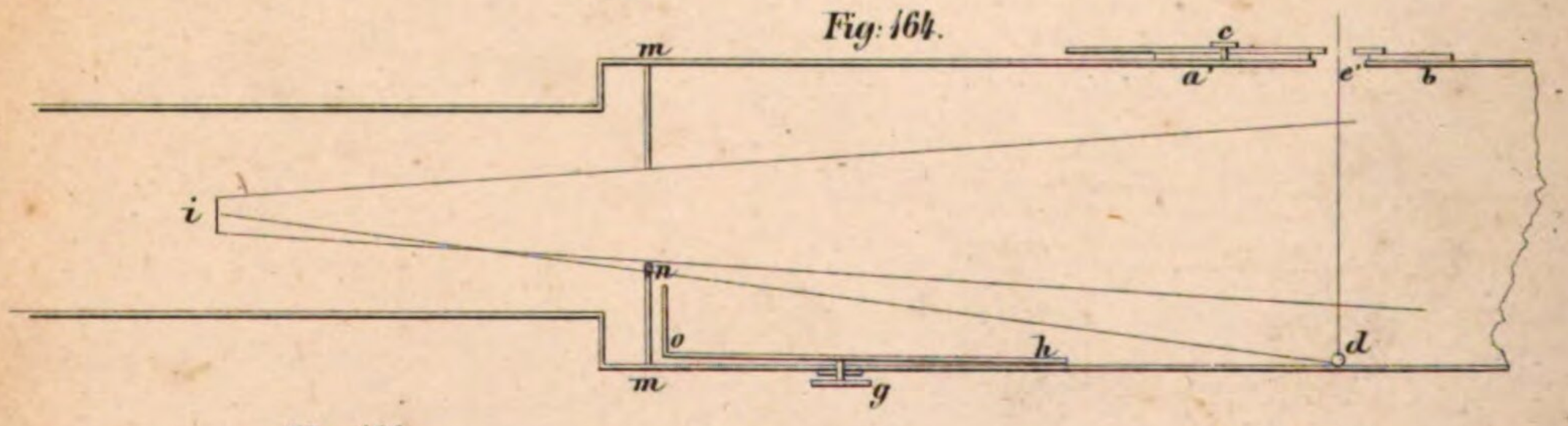


Fig: 165.

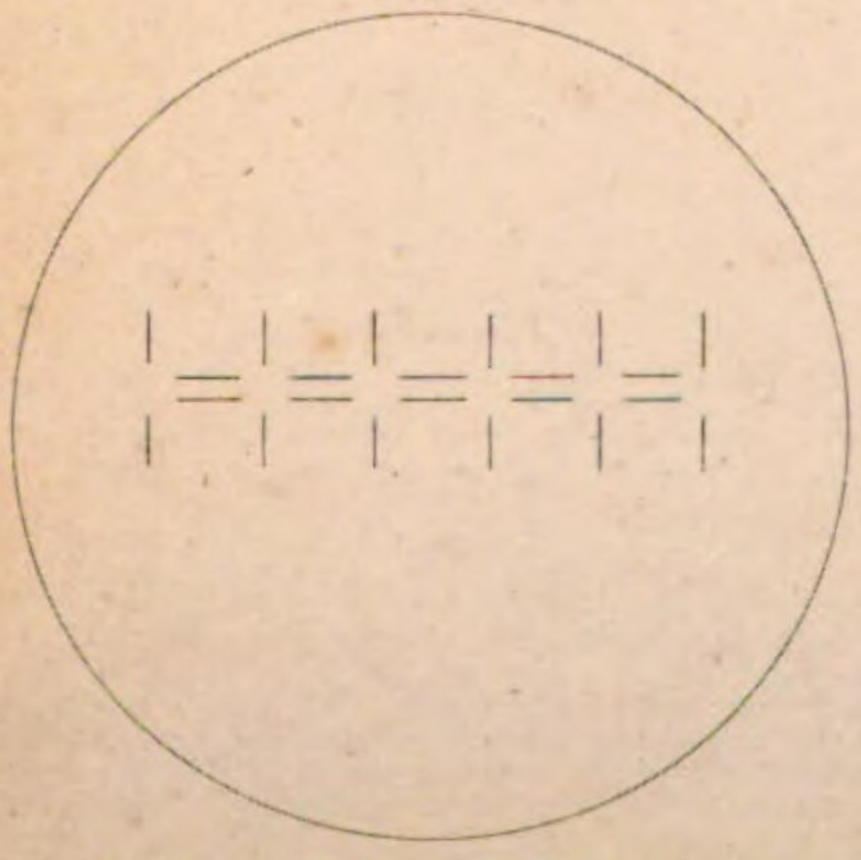


Fig: 166.

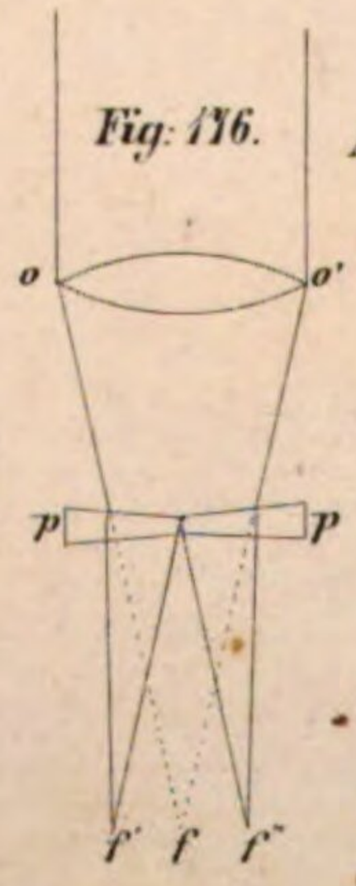
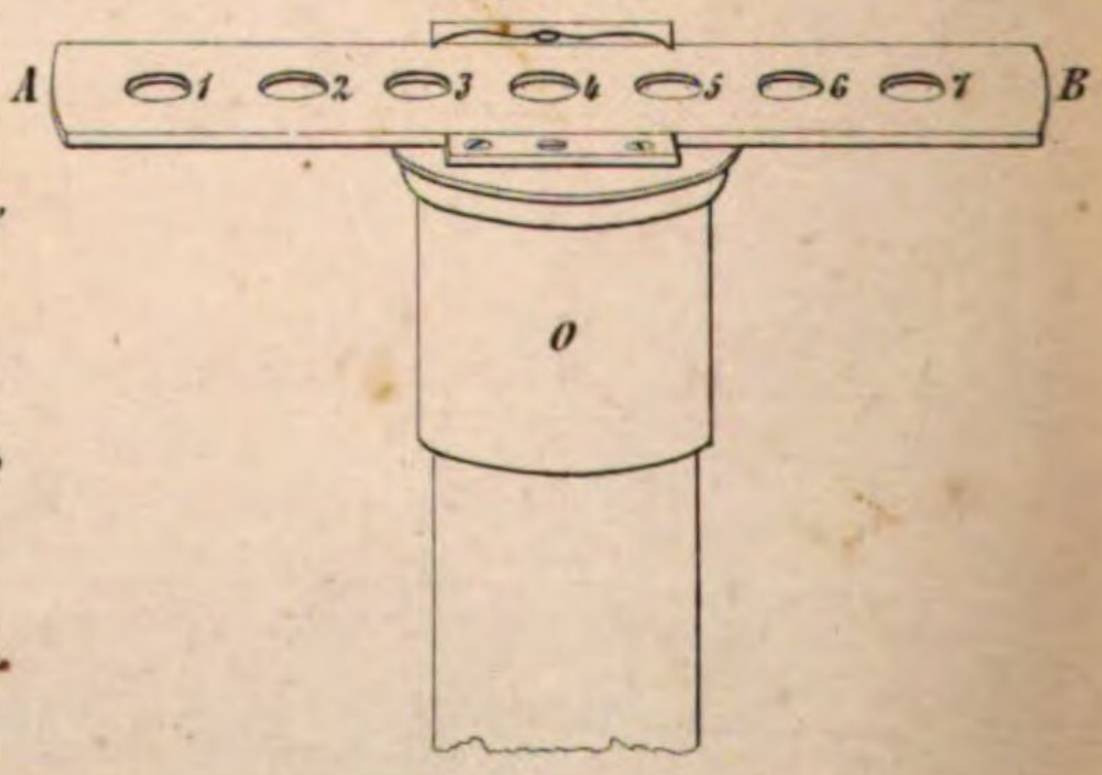


Fig: 174.



Artist Anstalt d Landes Industrie

Fig: 166.

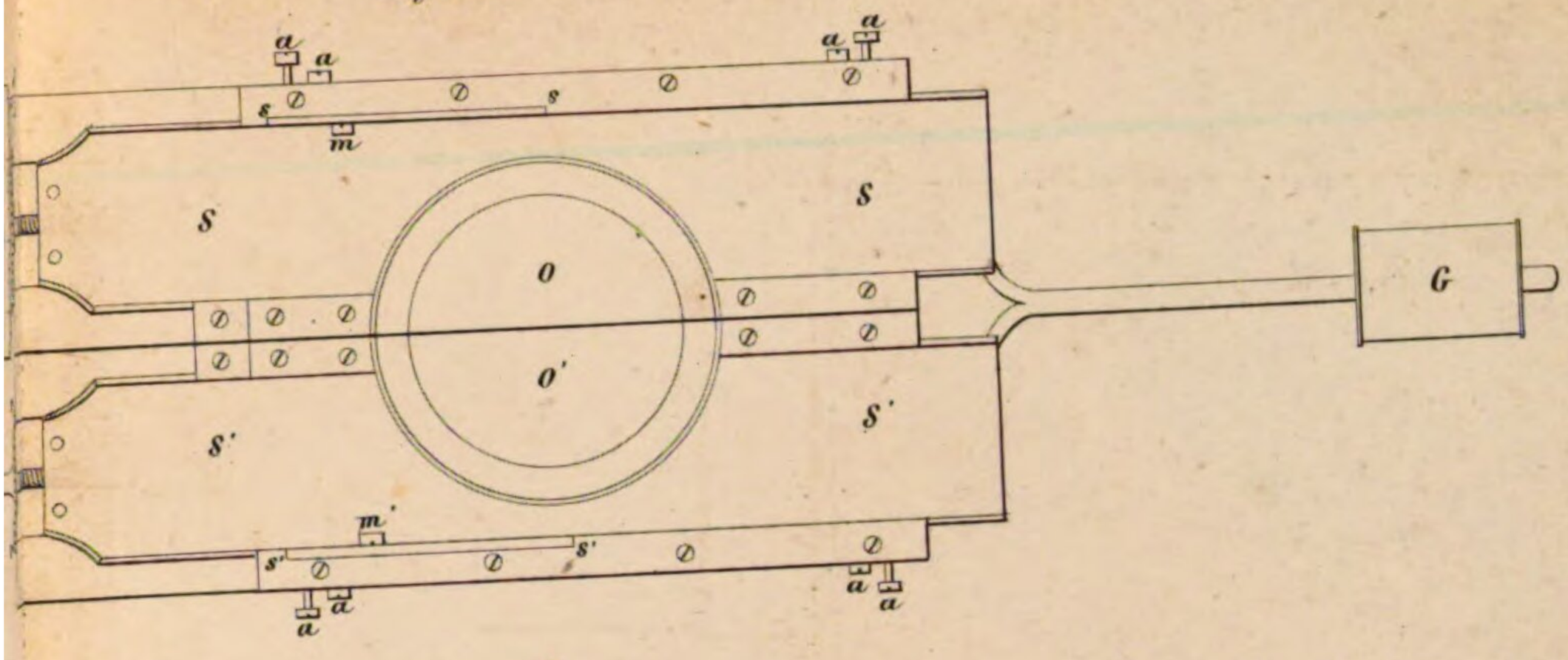


Fig: 169.

Fig: 167.

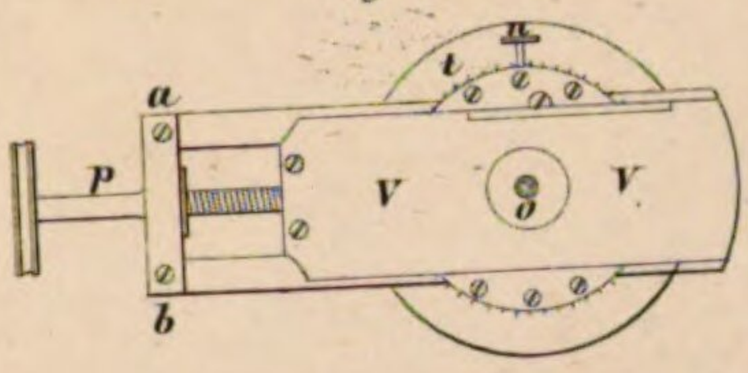


Fig: 168.

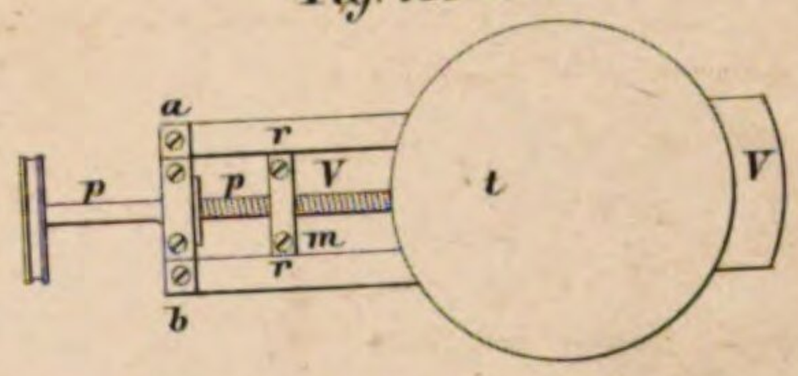


Fig: 170.

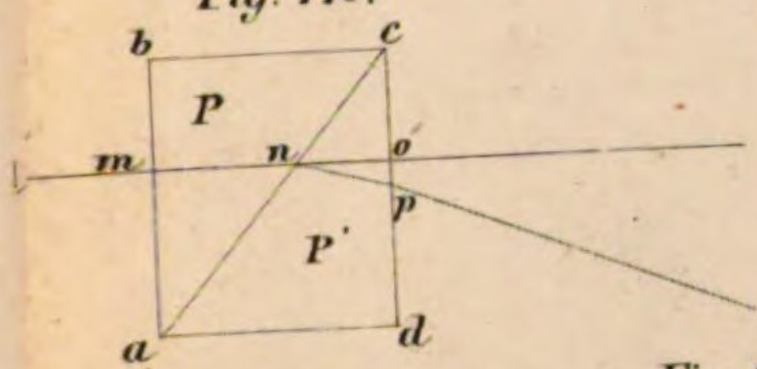


Fig: 171.

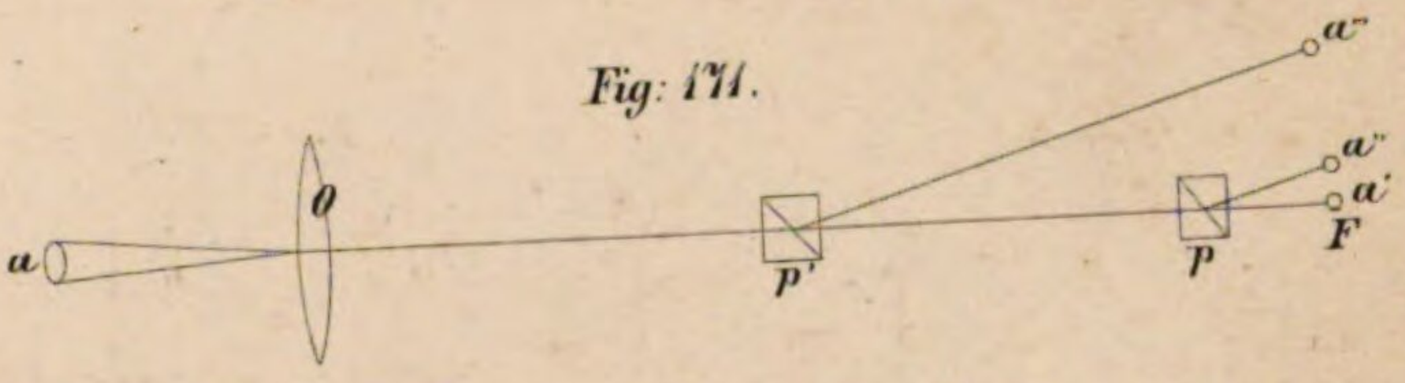


Fig: 172.

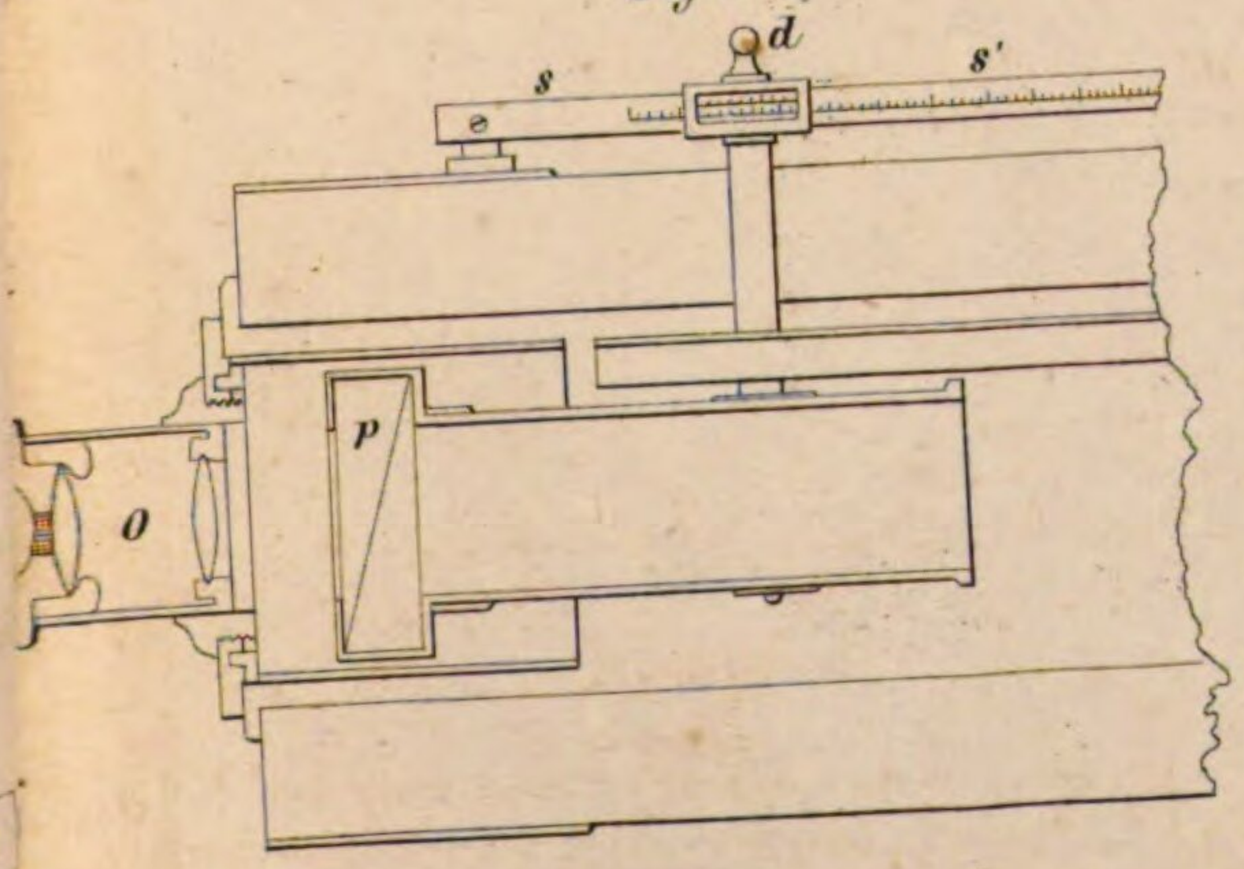


Fig: 175.

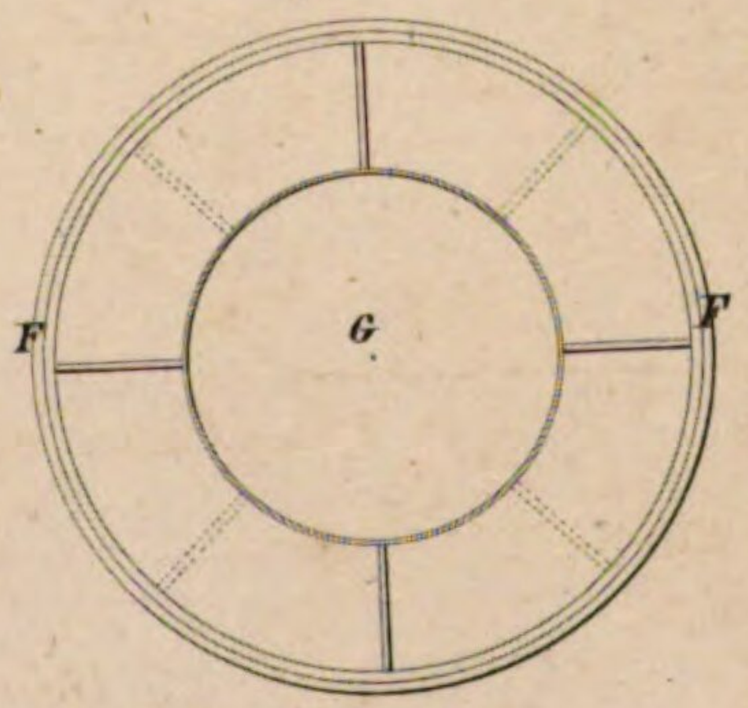


Fig: 177.

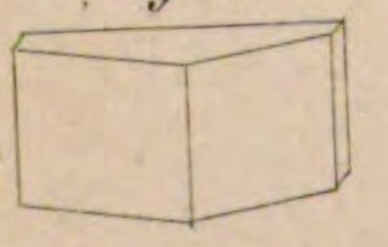


Fig: 178.

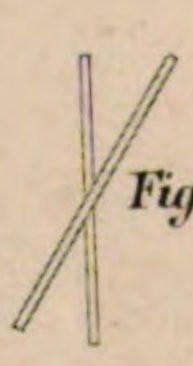
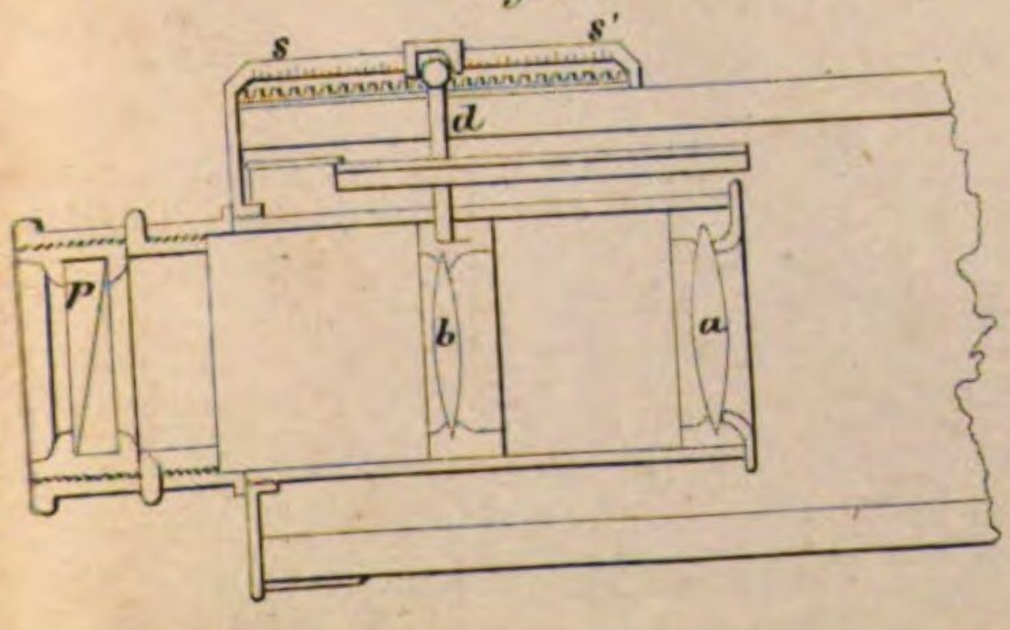


Fig: 173.



Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

e Comptoirs in Weimar.

Fig. 179.

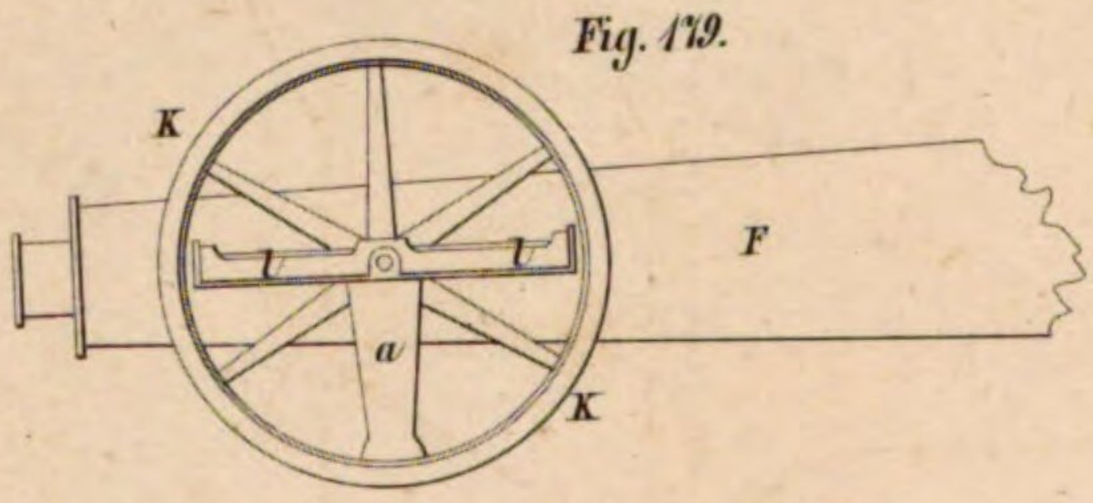


Fig. 180.

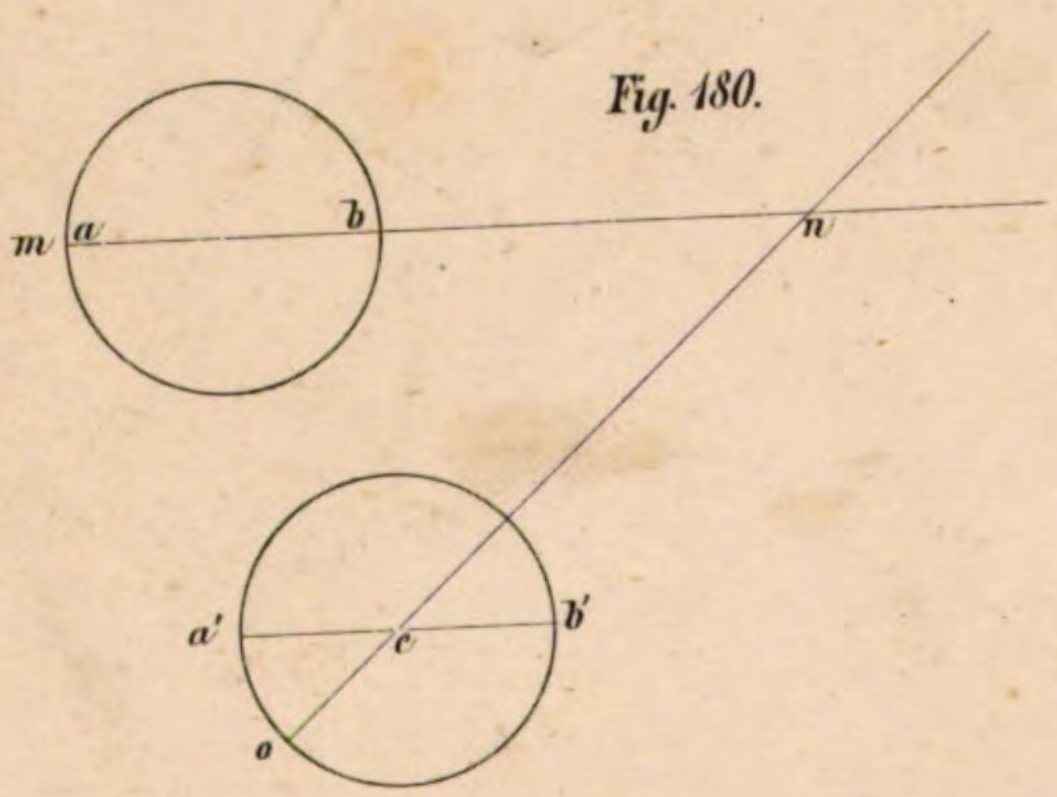


Fig. 181.

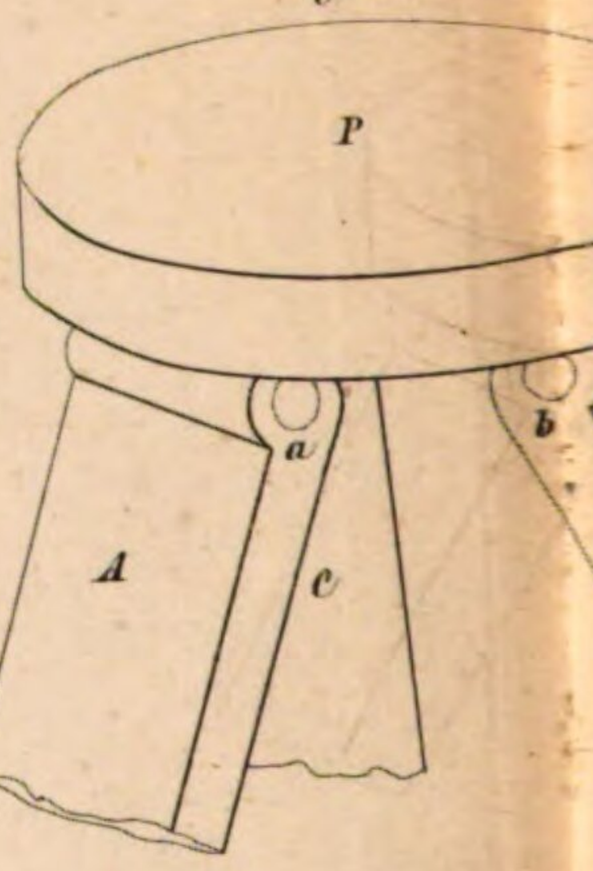


Fig. 183.

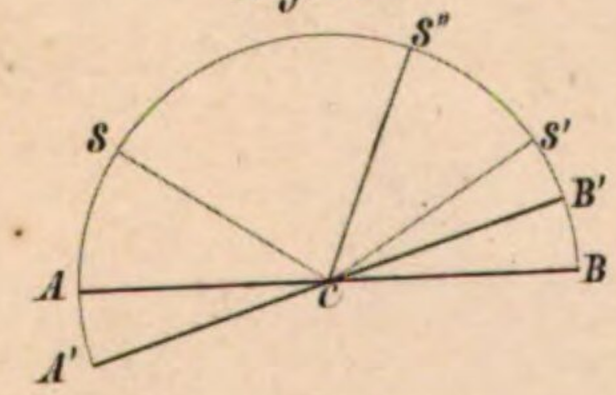


Fig. 184.

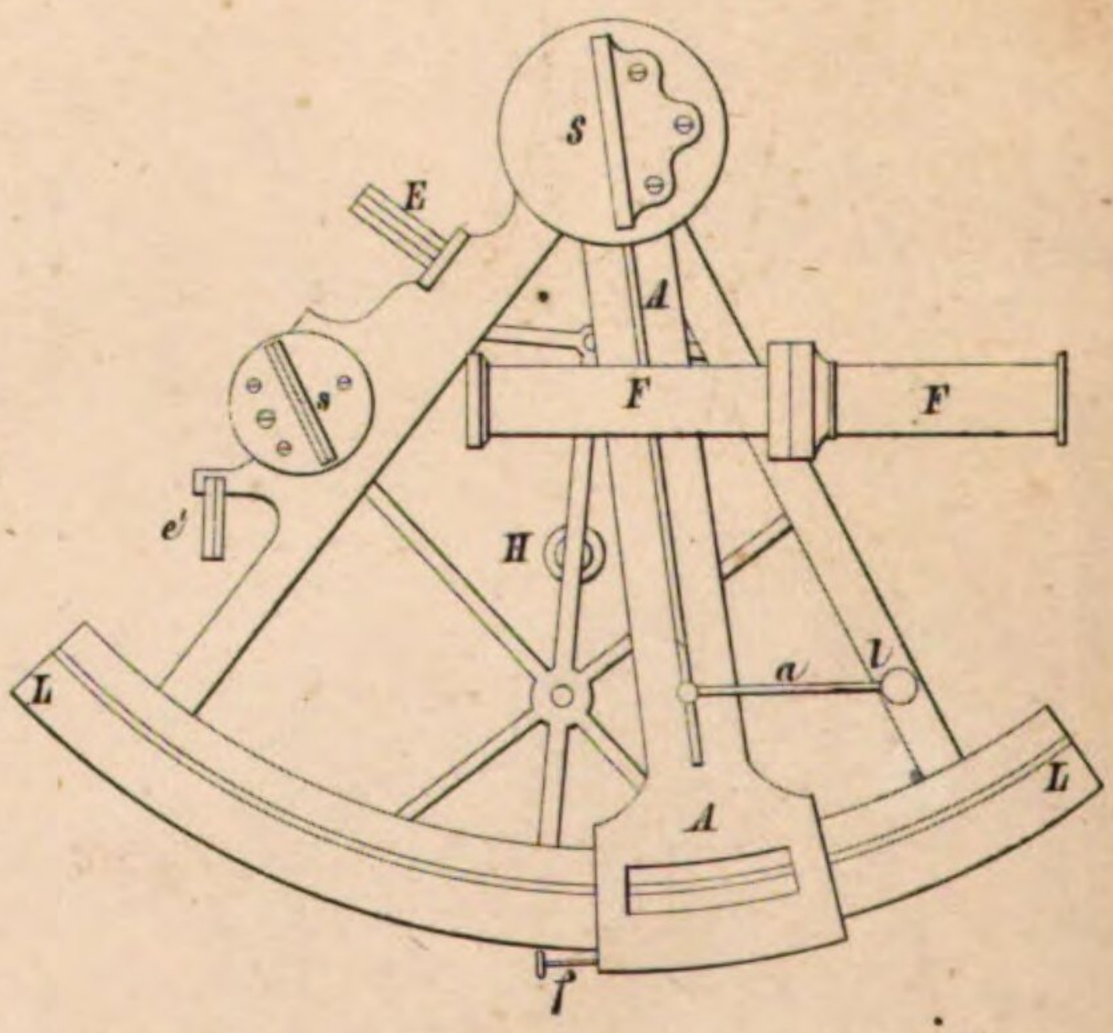


Fig. 187.

Fig. 188.

Artist. Anstalt d. Landes Indu

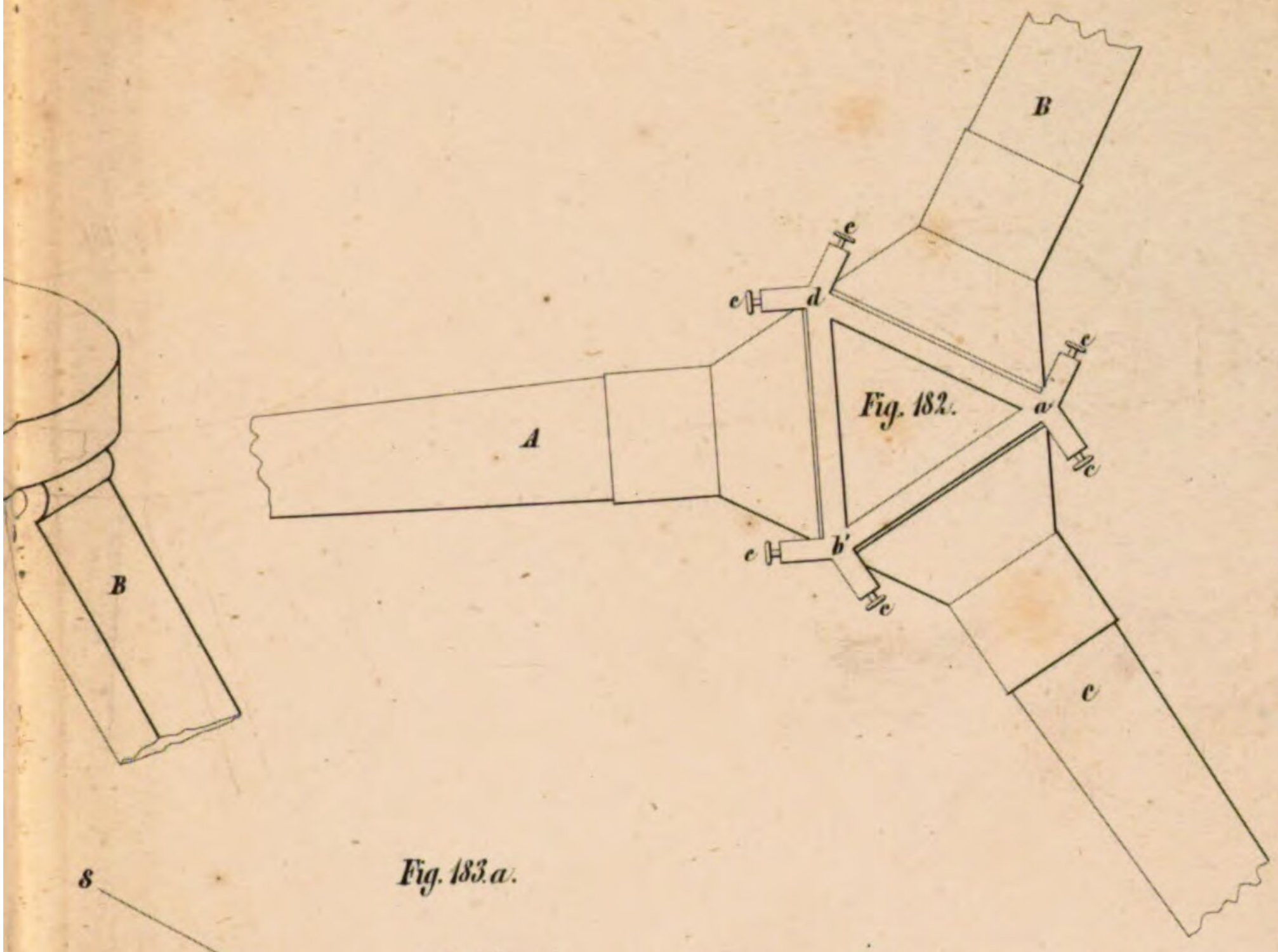


Fig. 182.

Fig. 183.a.

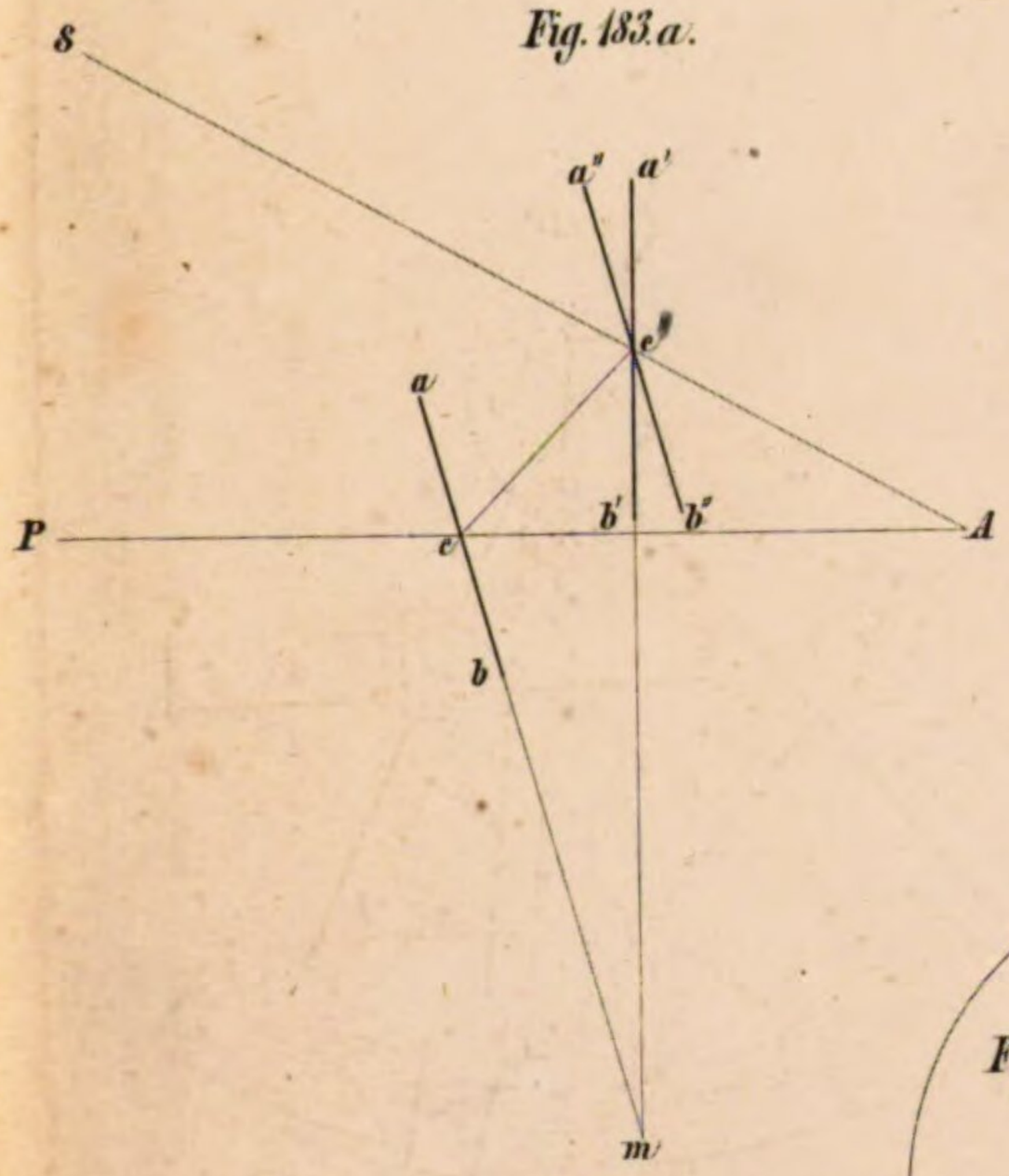
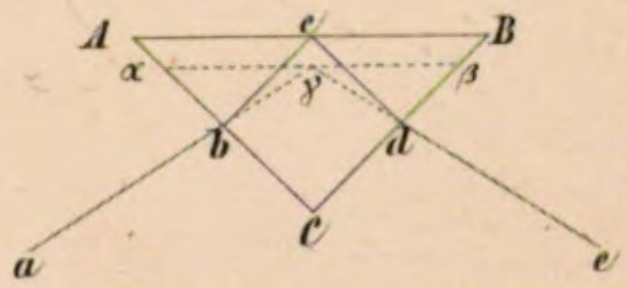


Fig. 185.



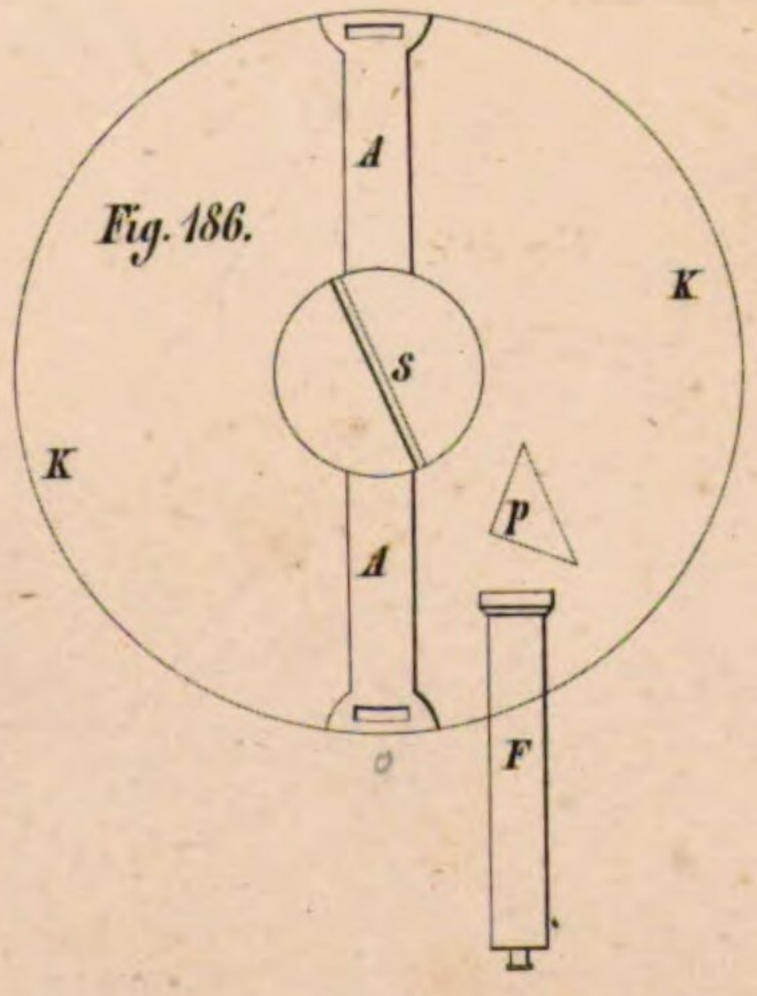


Fig. 186.

rie Comptoirs in Weimar.

Verlag v. Voigt & Günther in Leipzig.

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Carl, Philipp,

Die Principien der astronomischen Instrumentenkunde

Leipzig 1863

Astr.p. 32 k
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10060455-2